INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Universidade Técnica de Lisboa

Plataforma de posicionamento coordenado para auxílio a operações de protecção civil

Tiago Vicente Berlinga de Almeida dos Santos Barroso

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Júri

Presidente:	Prof. José Manuel Bioucas Dias
Orientador:	Prof. José Eduardo Charters Ribeiro da Cunha Sanguino
Co-orientador:	Prof. António José Castelo Branco Rodrigues
Vogais:	Prof. Pedro Sebastião
	Eng. Carlos Alfaiate

Dezembro de 2011

Agradecimentos

Durante o processo de elaboração deste trabalho, tive o apoio e ajuda de várias pessoas.

Agradeço à minha família todo o apoio e incentivo desde o primeiro dia e em especial durante a elaboração do projecto e a escrita da dissertação e aos meus amigos pelo apoio que me deram, sem o qual, provavelmente, não teria feito este trabalho.

Um agradecimento especial ao professor José Sanguino e ao professor António Rodrigues por ter tido a oportunidade de fazer esta dissertação e pelo apoio, incentivo e confiança que me deram para que o trabalho ficasse o melhor possível.

Por fim, quero agradecer às pessoas da empresa Datelka – Engenharia e Sistemas, em especial aos engenheiros Carlos Alfaiate e João Matos, pelo apoio, ajuda e ideias dados, durante a elaboração do projecto.

Resumo

Este trabalho teve como objectivo o desenvolvimento de uma plataforma de posicionamento coordenado para ser utilizada em operações de protecção civil, como por exemplo, combate a incêndios, busca e salvamento, entre outras. Para isso, utiliza-se o sistema GPS para recolher informação de posicionamento dos utilizadores do sistema e as comunicações móveis existentes, com recurso às tecnologias de segunda e terceira gerações, para transmitir a informação e dados entre utilizadores.

As aplicações desenvolvidas possibilitam a utilização de qualquer tipo de imagem como mapa do sistema, desde mapas digitalizados a fotografias aéreas, desde que a imagem seja associada a coordenadas geográficas. Para além da transmissão das coordenadas de posição, as aplicações também possibilitam a partilha de diagramas, que são desenhados directamente em cima dos mapas e podem conter informação como caminhos ou pontos de interesse presentes nos mesmos, e informação geográfica extra que pode ser recolhida através dos receptores GPS ou manualmente. Todas as informações são partilhadas de acordo com um sistema de permissões e autorizações na forma de uma base de dados. Se for necessário, é ainda possível adicionar mapas ao sistema.

As aplicações foram submetidas a testes para determinar a sua capacidade e viabilidade como produto comercial.

Palavras-chave: GPS, comunicações móveis, posicionamento coordenado.

Abstract

The purpose of this project is the development of a coordination positioning framework with the purpose of aiding civil protection operations. For this, the developed system makes use of the GPS system to gather positioning information about the users and the existing mobile communications systems of the second and third generations, in order to transmit the gathered information and other data between the users.

The applications developed let any kind of image be used as a map, from digitalized cartography to aerial photographs, as long as it is associated with its geographical coordinates. Other than transmitting positioning information, the applications also let users share sketches that are made on the maps and can contain information like waypoints or points of interest, and extra geographical information, gathered from the GPS receiver or introduced manually, for any map in use. All the information and data is transmitted over the network through a system of permissions and authorizations in the form of a database. Also, if necessary, new maps can be introduced in the network without having to bring the system offline.

All the applications developed were tested in order to assess their capabilities and viability as a commercial product.

Keywords: GPS, mobile communications, coordinated positioning.

Índice

Capítulo 1 - Introdução ... 1
1.1 - Motivação ... 1
1.2 - Objectivos ... 1
1.3 - Estrutura da Dissertação ... 2
1.4 - Publicações ... 2
Capítulo 2 - Tecnologias Relevantes ... 3
2.1 - Introdução ... 3
2.2 - Sistema de Posicionamento Global ... 3
2.2.1 - Introdução ... 3
2.2.2 - Segmento Espacial ... 4
2.2.3 - Segmento de Controlo ... 5
2.2.4 - Segmento de Utilizador ... 6
2.3 - *Bluetooth* ... 7
2.3.1 - Introdução ... 7
2.3.2 - Aspectos Técnicos ... 7
2.4 - Sistemas de Comunicações Móveis ... 8
2.4.1 - Introdução ... 8
2.4.2 - GPRS/GSM ... 9
2.4.3 - EDGE/GSM ... 9
2.4.4 - HSDPA/UMTS ... 9
2.4.5 - HSUPA/UMTS ... 10
2.4.6 - HSPA+/UMTS ... 10
2.5 - *Structured Query Language* (SQL) ... 11
2.5.1 - Introdução ... 11
2.5.2 - Visão geral dos elementos da linguagem ... 12
2.5.3 - Consultas (*Queries*) ... 13
2.6 - *Keyhole Markup Language* (KML) ... 13
2.6.1 - Introdução ... 13
2.6.2 - Visão geral dos elementos da linguagem ... 14
2.6.3 - *Update* e *Network Link Control* ... 15
Capítulo 3 - Sistema Desenvolvido ... 17
3.1 - Introdução ... 17
3.2 - Estado da Arte ... 17
3.3 - Arquitectura do Sistema ... 20
3.3.1 - Duas possibilidades: Servidor – Clientes e *Peer-to-Peer* ... 20
3.3.2 - Vantagens da arquitectura Servidor-Clientes face à P2P [25] ... 21
3.3.3 - Desvantagens da arquitectura Servidor-Clientes perante a P2P [25] ... 21
3.3.4 - Arquitectura utilizada no projecto da dissertação ... 22
3.4 - Sistema proposto e dispositivos utilizados ... 22
3.5 - Aplicação para os terminais portáteis ... 24
3.5.1 - Introdução ... 24
3.5.2 - Inicialização ... 24
3.5.3 - Funcionalidades ... 26
3.6 - Aplicação destinada às estações estáticas ... 40
3.6.1 - Introdução ... 40
3.6.2 - Inicialização ... 40
3.6.3 - Funcionalidades ... 41
3.6.4 - Servidor SQL ... 44
Capítulo 4 - Testes da Aplicação ... 47
4.1 - Introdução ... 47
4.2 - Número de pontos de georreferenciação ... 47

4.2.1 - Introdução ... 47
4.2.2 - Teste ... 47
4.2.3 - Conclusão ... 49
4.3 - Tempos de transmissão de dados na rede ... 49
4.3.1 - Introdução ... 49
4.3.2 - Teste ... 49
4.3.3 - Conclusões ... 51
4.4 - Velocidade de preenchimento da janela da aplicação ... 51
4.4.1 - Introdução ... 51
4.4.2 - Teste ... 52
4.4.3 - Conclusões ... 53
4.5 - Precisão do cálculo de orientação ... 54
4.5.1 - Introdução ... 54
4.5.2 - Cálculos ... 54
4.5.3 - Conclusão ... 54
4.6 - Estimativa do volume de tráfego utilizado pelo sistema ... 55
4.6.1 - Introdução ... 55
4.6.2 - Cálculos ... 55
4.6.3 - Conclusão ... 56
Capítulo 5 - Conclusões e Crítica ... 57
5.1 - Conclusões ... 57
5.2 - Crítica ... 57
Referências ... 59
Anexo A - *Standard* NMEA e utilização das coordenadas recolhidas ... 61
A.1 - *Standard* NMEA ... 61
A.1.1 - Introdução ... 61
A.1.2 - Mensagens utilizadas ... 61
A.2 - Utilização das coordenadas geográficas recebidas ... 62
Anexo B - Protocolo de Comunicações entre Servidor e Clientes ... 65
B.1 - Formato das mensagens ... 65
B.2 - IDs de utilizador ... 65
B.3 - Mensagens (S – só enviada pelo servidor; C – só enviada pelos clientes) ... 65
B.4 - Tabelas ... 67
B.5 - Diagramas Temporais ... 81
B.5.1 - Sequência de Inicialização ... 81
B.5.2 - Transmissão do nome dos grupos existentes na base de dados ... 81
B.5.3 - Transmissão de coordenadas ... 82
B.5.4 - Transmissão dos IDs dos esquemas ... 83
B.5.5 - Transmissão de esquemas ... 84
B.5.6 - Transmissão de mapas ... 86
B.5.7 - Transmissão de Coordenadas extra de Georreferenciação ... 87
Anexo C - Ficheiros de leitura de dados ... 89
C.1 - Introdução ... 89
C.2 - Config.txt ... 89
C.3 - Config_GPS.txt ... 90
C.4 - Config_SQL.txt ... 91
C.5 - InfoMapas.txt ... 91
C.6 - Esquemas.txt ... 92
C.7 - DestEsq.txt ... 93
Anexo D - Consultas (*Queries*) SQL utilizadas ... 95
D.1 - Introdução ... 95
D.2 - Consulta de utilizadores ... 95
D.3 - Consulta de grupos ... 95

D.4 - Autorização para ligação 95
D.5 - Consulta de grupos a que o utilizador pertence 95
D.6 - Utilizadores da rede na mesma operação que o utilizador da aplicação 96
D.7 - Grupos de maior hierarquia a que o utilizador pertence 96
D.8 - Grupos para onde o utilizador pode enviar esquemas 96
D.9 - Utilizadores de um grupo 97
D.10 - Permissão para enviar coordenadas extra de georreferenciação 97
Anexo E - Ficheiros KML utilizados 99
E.1 - Introdução 99
E.2 - Ficheiro Inicial 99
E.3 - *Network Link* para ficheiro inicial 100
E.4 - Ficheiro de actualizações 100
E.5 - *Network Link* para o ficheiro de actualizações 102
Anexo F - Manual do Utilizador do sistema desenvolvido 103
F.1 - Introdução 103
F.2 - Servidor 104
F.3 - Cliente 106
F.4 - Problemas Conhecidos 111
Anexo G - Artigo WPMC'11 113
Anexo H - Artigo Comité português da URSI 2011 119

Lista de Figuras

Figura 1 – Os três segmentos do sistema GPS, [1]. 3
Figura 2 – Constelação do sistema GPS, [4]. 4
Figura 3 – Localização das estações de monitorização do sistema GPS, [8]. 5
Figura 4 – (a) Receptor integrado num aparelho, [F1], e (b) receptor pronto a ligar a um PC, [F2]. 6
Figura 5 – Receptor *Bluetooth* para ligar a uma porta USB, [F3]. 7
Figura 6 – Rede de *Bluetooth*, [9]. 8
Figura 7 – Tabela tipica de um servidor SQL. 12
Figura 8 – Alguns elementos da linguagem SQL, numa instrução, [20]. 12
Figura 9 – Exemplo de uma instrução SQL utilizada no projecto da dissertação. 13
Figura 10 – *Google Earth*, [22]. 14
Figura 11 – Funcionamento da função *Network Link*, [22]. 15
Figura 12 - Equipamento utilizado no sistema *I-Garment*, parte superior, [24]. 17
Figura 13 – Equipamento utilizado no sistema *I-Garment,* parte inferior, [24]. 18
Figura 14 – Funcionamento do sistema *I-Garment*, [24]. 18
Figura 15 – Janela do TFC 210 (a) e *Geocommunicator* (b), [23]. 19
Figura 16 – Arquitectura Servidor – Clientes, [25]. 20
Figura 17 – Arquitectura P2P, [25]. 21
Figura 18 – Arquitectura do sistema desenvolvido. 22
Figura 19 – Exemplo de computador para instalar num veículo, da marca *Sunit – In-Vehicle Computers*, classe d. 23
Figura 20 – Receptores GPS com ligação *Bluetooth.* 23
Figura 21 – *Modems* para acesso à *Internet* móvel. 24
Figura 22 – Janela da aplicação Cliente. 25
Figura 23 – Menu do cliente. 26
Figura 24 – Cálculo da posição do utilizador em coordenadas do mapa. 28
Figura 25 – Cálculo da posição do utilizador em coordenadas da janela. 29
Figura 26 – Marcadores utilizados. 29
Figura 27 - Apresentação de um utilizador através da sua orientação. 31
Figura 28 – Marcadores utilizados (2). 31
Figura 29 – Opções relacionadas com os receptores GPS. 32
Figura 30 – Janela de configuração dos receptores GPS. 32
Figura 31 – Submenu *Rede*. 33
Figura 32 – Opções relacionadas com os esquemas. 34
Figura 33 – Janela com a lista de esquemas. 34
Figura 34 – *Interface* de criação de um esquema. 34
Figura 35 – Cálculo da posição do cursor. 35
Figura 36 – Janela utilizada para finalizar um esquema. 36
Figura 37 – Opções relacionadas com pontos de georreferenciação. 37
Figura 38 – Janela para introdução de dados sobre novo ponto de georreferenciação. 37
Figura 39 – Janela para introdução da nota para o novo ponto de georreferenciação. 38
Figura 40 – Janela com a opção de mostrar pontos de georreferenciação seleccionada. 38
Figura 41 – Marcadores utilizados para pontos de georreferenciação. 39
Figura 42 – Mapa com os quadrados formados pelos pontos de georreferenciação. 39
Figura 43 – Janela com os mapas que possuem coordenadas extra de georreferenciação. 40
Figura 44 – Janela da aplicação Servidor. 41
Figura 45 – Menu do servidor. 42
Figura 46 – Janela de escolha de mapa a enviar. 42
Figura 47 – Janela para georreferenciar novo mapa. 42
Figura 48 – Janela com mapas com coordenadas extra. 43
Figura 49 - Janela do *Google Earth* aberta pela aplicação. 44
Figura 50 – Diagrama da BD SQL. 45
Figura 51 - Mapa de teste 48
Figura 52 - Resultados do teste. 48
Figura 53 – Exemplo de transmissão de um mapa. 50
Figura 54 - Tempo de transmissão de um mapa para a rede. 51
Figura 55 - Tempo de preenchimento da janela (1). 52
Figura 56 - Tempo de preenchimento da janela (2). 53

Figura 57 – Teste da orientação 55
Figura 58 - Formato das mensagens trocadas no sistema..... 55
Figura A.1 – Mensagem GGA. 61
Figura A.2 - Mensagem RMC..... 62
Figura B.1 – Formato das mensagens. 65
Figura B.2 – Inicialização da comunicação S-C..... 81
Figura B.3 – Sequência de envio dos nomes dos grupos. 81
Figura B.4 – Sequência de troca de coordenadas. 82
Figura B.5 – Pedido de IDs dos esquemas..... 83
Figura B.6 – Sequência de transmissão de um esquema (S->C). 84
Figura B.7 – Sequência de transmissão de um esquema (C->S). 85
Figura B.8 – Sequência de transmissão de um mapa. 86
Figura B.9 – Sequência de transmissão de coordenadas de georreferenciação extra. 87
Figura F.1 – Janela da aplicação Servidor. 104
Figura F.2 – Menu da aplicação Servidor. 104
Figura F.3 – Janela para selecção de mapa a enviar. 105
Figura F.4 – Janela para georreferenciar novo mapa. 105
Figura F.5 – Janela inicial da aplicação Cliente. 106
Figura F.6 – Botões de *interface* da janela do Cliente. 107
Figura F.7 – Opções da aplicação Cliente. 107
Figura F.8 – Submenu Receptor GPS. 107
Figura F.9 – Submenu Rede. 108
Figura F.10 – Submenu Esquemas. 108
Figura F.11 – Janela da opção Listar. 108
Figura F.12 – *Interface* de criação de novo esquema. 109
Figura F.13 – Janela para finalizar a criação de um esquema. 109
Figura F.14 – Submenu Pontos Georreferenc. 110
Figura F.15 – Janela para introdução de dados de georreferenciação. 110
Figura F.16 – Janela para finalizar introdução de um 110
Figura F.17 – Janela com imagem onde se mostram os pontos de georreferenciação. 111
Figura F.18 – Lista de mapas com coordenadas de georreferenciação extra. 111
Figure G1. Coordinated Positioning Systems architecture 114
Figure G2. Example of a coordinated position system interface..... 114
Figure G3. Georeferencing error. Different latitudes along an horizontal line of pixels 115
Figure G4. Calculation of a user's representation on a map..... 115
Figure G5. (a) Window with georeferencing points marked
(b) Representation of the squares calculated 115
Figure G6. Test image..... 116
Figure G7. Test case 1: grid with 5 points..... 116
Figure G8. Test case 1: grid with 13 points..... 116
Figure G9. Test case 1: grid with 41 points..... 116
Figure G10. Test case 1: grid with 145 points..... 116
Figure G11. Increase in georeferencing points 117
Figure 1. Segments of the GPS system 120
Figure 2. I-Garment System 121
Figure 3. TFC 210 (a) and Geocomunicator (b) windows 122
Figure 4. System architecture 122
Figure 5. Vehicle computer, from Sunit: In-Vehicle Computers, class d 122
Figure 6. GPS receivers used in this project 122
Figure 7. Main window of the Client application 123
Figure 8. Converting geographical coordinates into image coordinates 123
Figure 9. Converting image coordinates into screen coordinates 124
Figure 10. Markers for the user’s position onscreen 124
Figure 11. Markers for user’s coordinates received from the Server 124
Figure 12. Orientation of a user marked on the application 124
Figure 13. "Receptor GPS" sub-menu 125
Figure 14. Sketches sub-menu 125
Figure 15. Georeferencing sub-menu 126
Figure 16. Image with georeferencing points marked 126

Figure 17. Rectangles created with the georeferencing points, as done internally by the application 126
Figure 18. Server application window 127
Figure 19. Server application's menu 127
Figure 20. Google Earth window showing two users and a sketch 127
Figure 21. Database tables 128
Figure 22. Test image used 128
Figure 23. Case of a 145 points grid 128
Figure 24. Transmission time from the Server to the network 129
Figure 25. Window painting time 129
Figure 26. Real and calculated orientations marked on the application window 130
Figure 27. Format of the messages transmitted in the network 131

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Especificação dos receptores GPS utilizados 24
Tabela 2 – Resultados do envio de um mapa para a rede 50
Tabela 3 – Resultados do tempo de preenchimento da janela (1) 52
Tabela 4 – Resultados do tempo de preenchimento da janela (2) 53
Tabela B-1 – Estados e Entradas existentes para o servidor e clientes. 68
Tabela B-2 – Saídas das máquinas de estados. 69
Tabela B-3 – Predicados para o servidor e clientes. 70
Tabela B-4 – Acções internas. 71
Tabela B-5 – Máquina de estados do servidor (1). 72
Tabela B-6 – Máquina de estados do servidor (2). 73
Tabela B-7 – Máquina de estados do servidor (3). 74
Tabela B-8 – Máquina de estados do servidor (4). 75
Tabela B-9 – Máquina de estados dos clientes (1). 76
Tabela B-10 – Máquina de estados dos clientes (2). 77
Tabela B-11 – Máquina de estados dos clientes (3). 78
Tabela B-12 – Máquina de estados dos clientes (4). 79
Tabela B-13 – Máquina de estados dos clientes (5). 80
TABLE I. Georeferencing points needed for a uniform grid 117
TABLE H1. GPS receivers' specifications 123

Lista de Siglas

ANSI – *American National Standards Institute*

AP – *Access Point*

BD – Base de Dados

CID – Canto Inferior Direito

CSE – Canto Superior Esquerdo

DGPS – *Differential* GPS

ECEF – *Earth-Centered*, *Earth-Fixed*

EDGE – *Enhanced Data rates for GSM Evolution*

ENU – *East*, *North*, *Up*

FAA – Força Aérea Americana

GPRS – *General Packet Radio Service*

GPS – *Global Positioning System*

GSM – *Global System for Mobile communications*

HS-DSCH – *High Speed – Downlink Shared Channels*

HSDPA – *High Speed Downlink Packet Access*

HSPA – *High Speed Packet Access*

HSUPA – *High Speed Uplink Packet Access*

IP – *Internet Protocol*

ISM – *Industrial*, *Scientific and Medical*

ISO – *International Organization for Standardization*

KML – *Keyhole Markup Language*

L1 – Link 1

L2 – Link 2

LLA – Longitude, Latitude e Altitude

Mbps – Megabits por Segundo

MIMO – *Multiple Input Multiple Output*

ms – Milisegundos

NMEA – *National Marine Electronics Association*

OGC – *Open Geospatial Consortium*

P2P – *Peer to Peer*

PDA – *Personal Digital Assistant*

PSK – *Phase Shift Keying*

PVT – Posição, Velocidade e Tempo

QAM – *Quadrature Amplitude Modulation*

RF – Rádio-Frequências

SEQUEL – *Structured English QUEry Language*

SQL – *Structured Query Language*

SQUARE – *Specifying QUeries As Relational Expressions*

T-SQL – *Transact Structured Query Language*

UMTS – *Universal Mobile Telecommunications System*

USB – *Universal Serial Bus*

WCDMA – *Wideband Code Division Multiple Access*

XML – *Extensible Markup Language*

Capítulo 1 - Introdução

1.1 - Motivação

O sistema GPS (*Global Positioning System*), na sua forma mais simples, ou seja, com recurso apenas a um receptor que transmita ao utilizador a sua posição, em latitude e longitude, necessita de cartografia própria, em papel, para que este consiga visualizar onde se encontra. Actualmente, os dispositivos GPS existentes no mercado utilizam ecrãs capazes de mostrar a sua posição de forma automática sobre cartografia digitalizada. Para além da posição também é possível fazer marcações nos mapas existentes e calcular caminhos, entre outras funcionalidades. Apesar de todos os avanços existentes nestes dispositivos, ainda não é possível criar uma rede onde as posições dos utilizadores e determinados dados sejam partilhados. Também não é possível ao utilizador digitalizar cartografia e adicioná-la manualmente.

A criação de um sistema capaz de produzir e manter uma rede de utilizadores, onde as suas posições e alguns dados são partilhados, pode ajudar todo o tipo de operações que necessitem de uma boa coordenação, como por exemplo, resgate de pessoas, combate a incêndios, ou simplesmente, o controlo de uma frota de veículos por parte de uma empresa. No caso específico das operações de protecção civil, uma boa coordenação dos meios disponíveis tem um grande impacto no sucesso das mesmas, assim como na segurança dos operacionais envolvidos.

1.2 - Objectivos

A presente dissertação teve como objectivo o desenvolvimento de um protótipo de uma plataforma de posicionamento coordenado baseado em GPS, destinada ao auxílio de operações de protecção civil. Este sistema foi desenvolvido tendo em conta os seguintes aspectos técnicos:

- O posicionamento dos utilizadores é baseado em GPS;
- As comunicações baseiam-se em GPRS (*General Packet Radio Service*) ou UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*);
- O sistema suporta estações fixas e terminais portáteis;
- As estações fixas estão preparadas para coordenar várias equipas;
- O *interface* do utilizador utiliza imagens georreferenciadas para mostrar a informação de posicionamento;
- O sistema suporta imagens com diversas camadas, contendo diferentes tipos de informação;
- Para além de mostrar dados de posicionamento, os terminais com *interface* gráfico trocam informação, como por exemplo, mapas e desenhos feitos no próprio *interface*;
- Para uma melhor visualização dos mapas e elementos da rede, foi desenvolvido um conjunto de ferramentas, como *zoom* e *pan*;

Para além disso, foi necessário ter em conta o tipo de utilizadores alvo e as condições em que o sistema será utilizado, tendo sido dada atenção especial às seguintes características:

- *Interface* fácil de utilizar pelos utilizadores;
- Robustez das aplicações;
- Autonomia dos terminais móveis;
- Capacidade dos processadores;
- Atrasos nos dados de posicionamento;
- Custos dos dados transmitidos.

1.3 - Estrutura da Dissertação

A presente dissertação está dividida em cinco capítulos. Após o capítulo inicial, o capitulo 1, de introdução ao trabalho desenvolvido, segue-se uma descrição de todas as tecnologias utilizadas pelo projecto no capítulo 2, entre elas o sistema GPS, as comunicações GPRS e UMTS e as linguagens de programação necessárias. No capítulo 3, é explicado todo o sistema desenvolvido, começando com o estado da arte para este tipo de sistemas, uma descrição dos dispositivos utilizados e finalmente uma descrição de todas as funcionalidades das aplicações desenvolvidas. Segue-se um capítulo sobre testes realizados a essas aplicações, o capítulo 4, e o quinto e último capítulo é composto pelas conclusões e críticas ao projecto desenvolvido. A crítica feita apresenta também aspectos a melhorar ou que podem ser implementados como extensão do trabalho realizado.

1.4 - Publicações

Foram submetidos dois artigos científicos, elaborados, um a partir do teste aplicacional apresentado na secção 4.2 e outro a partir do resumo alargado deste trabalho, que foram aceites nas seguintes conferências:

- *Georeferencing for Coordinated Positioning Applications*, apresentado no 14º Simpósio Internacional sobre *Wireless Personal Multimedia Communications* (WPMC'11), 3-7 Outubro de 2011, Brest, França (Anexo G);
- *Coordinated Positioning System Based on GPS for Assistance of Civil Protection Operations*, apresentado no 5º Congresso do Comité Português da URSI, 11 de Novembro de 2011, Lisboa, Portugal (Anexo H).

Capítulo 2 - Tecnologias Relevantes

2.1 - Introdução

Neste capítulo descrevem-se todas as tecnologias utilizadas pelas aplicações desenvolvidas ou necessárias para o seu funcionamento correcto. Inicialmente descreve-se o sistema utilizado para recolher informação de posicionamento, depois as tecnologias existentes e utilizadas para a comunicação entre utilizadores e, finalmente, as linguagens de programação utilizadas para controlar os sistemas de suporte às aplicações, ou seja, as bases de dados utilizadas e o programa *Google Earth*.

2.2 - Sistema de Posicionamento Global

2.2.1 - Introdução

O Sistema GPS é um sistema de informação electrónico que fornece, via rádio, a um número ilimitado de utilizadores equipados com aparelhos receptores, informação PVT (Posição, Velocidade e Tempo). O sistema foi criado e desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos e concebido de forma a suportar uma utilização militar e outra civil. No caso da utilização civil, o sistema GPS tem elementos que protegem o sistema de *spoofing*, ou seja, imitação, [1].
O sistema GPS está dividido em três grandes segmentos: o segmento espacial, o segmento de controlo e o segmento de utilizador, como se pode ver na Figura 1.

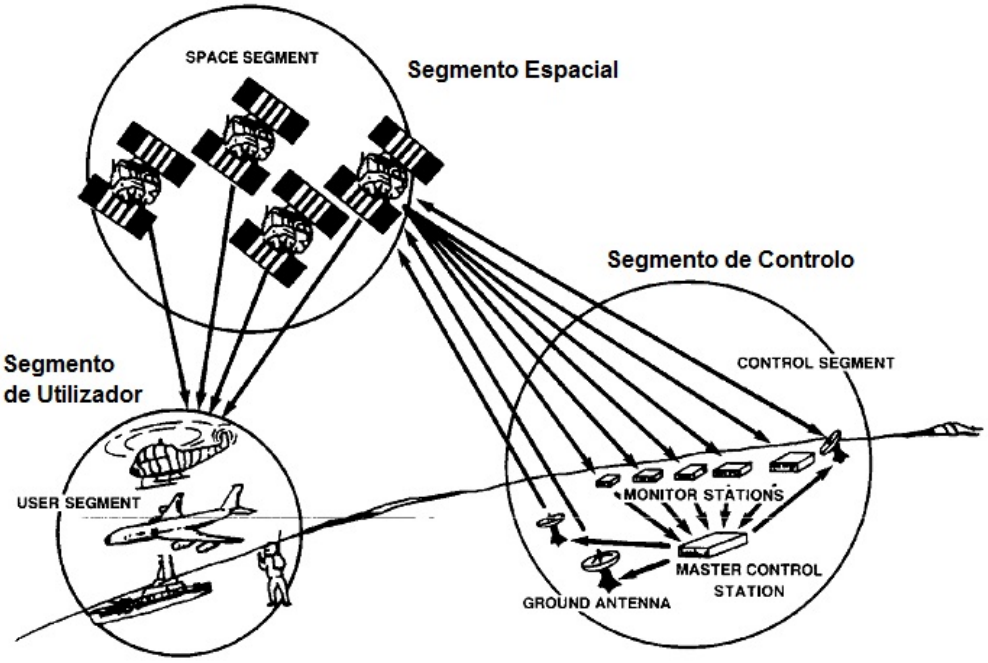


Figura 1 – Os três segmentos do sistema GPS, [1].

2.2.2 - Segmento Espacial

O Segmento Espacial consistia, originalmente, numa constelação de 24 satélites, a uma altitude média de 20.200 km em relação à superfície da Terra, dispostos em três planos orbitais com período de cerca de 11 horas e 58 minutos, cada um com oito satélites. Essa disposição foi depois alterada para seis planos orbitais com quatro satélites em cada e, actualmente, existem 31 satélites operacionais em órbita e a sua disposição passou a ser não uniforme, ou seja, o número de satélites por plano orbital não é o mesmo. Os satélites adicionais permitiram aumentar a precisão dos cálculos dos receptores, que por sua vez passaram a ter, ao seu dispor, medidas redundantes. Este aumento do número de satélites elevou assim a fiabilidade e disponibilidade do sistema, em caso de falha de alguns deles. Na Figura 2 pode ver-se a disposição da constelação, [2,3].

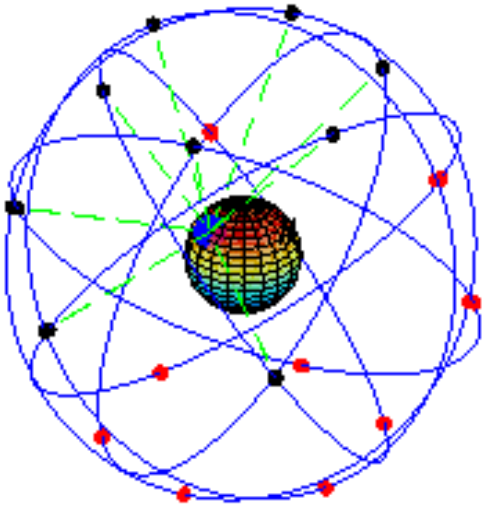


Figura 2 – Constelação do sistema GPS, [4].

Os satélites são agrupados em blocos de acordo com a sua geração. O bloco inicial, bloco I, que contava com 11 satélites, encontra-se já desactivado, assim como o seu sucessor, o bloco II, com nove satélites, no total. A constelação actual conta com satélites operacionais dos outros blocos que se seguiram, o bloco IIA (19 satélites em órbita, no total), IIR (12 satélites lançados com sucesso, no total), IIR-M (oito satélites em órbita, no total) e IIF, que actualmente conta com apenas um satélite em órbita, [5,6].

Os dados transmitidos pelos satélites são:

- Hora do satélite;
- Posição do satélite no espaço (efeméride do satélite);
- Posição aproximada de todos os satélites (almanaque da constelação);
- Condição de operação do satélite (operacional ou não);
- Correcção da hora do satélite para hora do sistema GPS;
- Estimativa de atrasos no sinal, provenientes dos efeitos da atmosfera.

Os satélites transmitem a informação acima descrita em duas frequências:

- L1 - com frequência central em 1575.45 MHz;
- L2 - com frequência central em 1227.6 MHz.

2.2.3 - Segmento de Controlo

O Segmento de Controlo consiste numa estação de controlo principal, sediada na base *Schriever* da Força Aérea Americana (FAA), em *Colorado Springs*, nos Estados Unidos, estações de monitorização e antenas fixas. As estações e antenas encontram-se espalhadas um pouco por todo o mundo. No início, existiam apenas quatro estações pertencentes à FAA mas desde então várias outras têm sido criadas, principalmente pela *National Imagery and Mapping Agency* (antigamente conhecida como *National Geospatial-Intelligence Agency*). Na Figura 3 pode ver-se a localização das estações de monitorização.

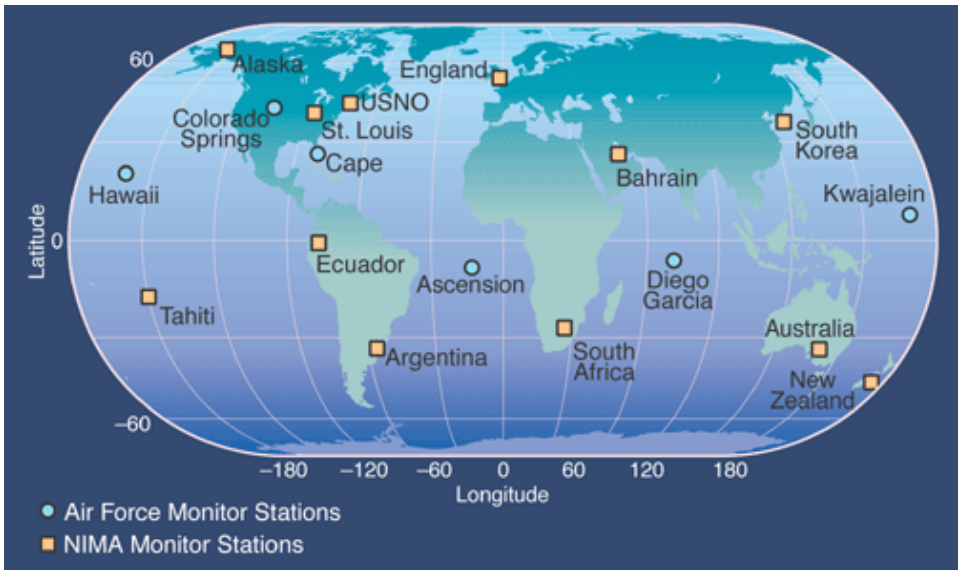


Figura 3 – Localização das estações de monitorização do sistema GPS, [8].

A estação de controlo principal funciona como um centro de processamento central e é responsável pela monitorização e gestão da constelação de satélites. Algumas das suas funções são o reposicionamento de satélites, actualização das mensagens de navegação transmitidas pelos mesmos, monitorização das suas condições de operacionalidade e operações de manutenção.

As estações de monitorização seguem todos os satélites em linha de vista, de modo a obterem dados acerca da sua distância. Estes dados são depois enviados para a estação de controlo principal onde são calculadas as efemérides e os parâmetros do relógio de cada satélite. As antenas fixas são utilizadas para transmitir periodicamente estes dados aos satélites.

O aumento do número das estações de monitorização levou a que, actualmente, cada satélite tenha, em qualquer instante, linha de vista para, pelo menos, duas estações, o que permite um cálculo mais preciso das órbitas dos satélites e das suas efemérides. Para o utilizador final, isto traduz-se num aumento da precisão da posição dada pelo sistema, [1,8].

2.2.4 - Segmento de Utilizador

O Segmento de Utilizador consiste em todos os receptores dos sinais e mensagens provenientes dos satélites do sistema GPS, cuja função é, para além de as receber, descodificá-las e processá-las. Normalmente o receptor tem que receber sinal de, no mínimo, quatro satélites, para gerar a informação PVT.

Para ter acesso à informação transmitida pelos satélites, o receptor começa por procurar quais os satélites que tem em linha de vista. Se souber, de imediato, quais estão em linha de vista, a aquisição de um sinal válido demora pouco tempo mas para isso acontecer, o receptor tem que ter o almanaque da constelação, as efemérides de alguns satélites provenientes de ligações anteriores, informação acerca da hora assim como uma estimativa aproximada da sua posição. Caso um receptor não possua toda ou parte desta informação, ou porque não é ligado há algum tempo ou porque a sua localização foi alterada enquanto estava desligado, começa, de forma sistemática, a tentar ligar-se a um satélite. Quando uma ligação é estabelecida, o receptor obtém o almanaque da constelação facilitando assim a localização dos restantes satélites. Nos receptores utilizados neste trabalho, os tempos variam desde cerca de 40 segundos quando não têm informação nenhuma (*cold start*) até 1 segundo quando têm informação válida à partida (*hot start*). Para os casos em que têm apenas parte da informação necessária, os tempos de aquisição de sinal são de cerca de 35 segundos.

Dependendo do receptor, este pode escolher o melhor conjunto de satélites para calcular a sua posição ou pode utilizar todos os satélites operacionais para os quais tenha linha de vista (*all-in-view*). Esta segunda solução leva a uma posição mais exacta mas necessita de receptores mais complexos e com maior capacidade de processamento.

Os receptores podem estar incorporados noutros equipamentos como é o caso dos aparelhos de navegação por GPS utilizados em veículos ou podem ser receptores que podem ser ligados a qualquer dispositivo por cabo, USB (*Universal Serial Bus*) ou via *Bluetooth*, [1]. Na Figura 4 pode ver-se um exemplo de cada um desses tipos.

(a) **(b)**

Figura 4 – (a) Receptor integrado num aparelho, [F1], e (b) receptor pronto a ligar a um PC, [F2].

A informação calculada pelos receptores é transmitida para os dispositivos a que estes estão ligados através de mensagens definidas em protocolos conhecidos. A norma utilizada no desenvolvimento deste projecto, que é utilizada pelos receptores disponibilizados, foi a norma concebida pelo NMEA (*National Marine Electronics Association*). Esta norma estipula o formato e conteúdo das mensagens enviadas pelos receptores. Algumas mensagens servem apenas para ver a validade da informação transmitida, outras têm informação PVT completa, ainda

existem outras com vários tipos de informação, como por exemplo, a orientação do receptor num dado trajecto. Mais informação sobre esta norma, assim como a sua utilização neste trabalho, estão presentes no Anexo A.

2.3 - *Bluetooth*

2.3.1 - Introdução

A tecnologia *Bluetooth* é um sistema de comunicações sem fios cujo objectivo é substituir os cabos de ligação entre aparelhos electrónicos fixos e móveis. As características principais da tecnologia *Bluetooth* são a robustez, o baixo consumo e o baixo custo. Muitas características das especificações são opcionais o que permite uma diferenciação de produtos.
A Figura 5 mostra o exemplo de um receptor *Bluetooth* para ligar a uma porta USB de outro dispositivo.

Figura 5 – Receptor *Bluetooth* para ligar a uma porta USB, [F3].

O sistema *Bluetooth* consiste num transceptor (transmissor e receptor) de RF (Rádio-Frequências) e um conjunto de protocolos que permitem trocas de vários tipos de dados entre diferentes dispositivos.
O baixo custo e consumo reduzido permitem que dispositivos como relógios e brinquedos tenham acesso a esta tecnologia sem fios. Permitem também que novas funcionalidades sejam incorporadas em dispositivos que já utilizam *Bluetooth* tais como dispositivos de desporto e *fitness*, de assistência médica, dispositivos de *interface* humano e dispositivos de entretenimento, [9].

2.3.2 - Aspectos Técnicos

A tecnologia *Bluetooth* opera na banda de RF dos 2.4GHz. É uma banda não reservada, a que se chama banda ISM (*Industry, Science and Medicine*) e é composta por 79 canais. O transceptor utilizado pelo sistema utiliza um método de transmissão de frequências alternadas (*frequency hopping*) de modo a combater a interferência e o desvanecimento. As operações de RF utilizam uma modulação binária em frequência, a fim de minimizar a complexidade do transceptor com uma taxa de ritmo de transmissão de 1Mbps (*Basic Rate*) embora exista outro modo que utiliza uma modulação PSK e que permite taxas brutas de 2 ou 3 Mbps (*Extended Data Rate*).
Durante uma operação, a banda de RF é partilhada por um grupo de dispositivos que ficam sincronizados com um relógio em padrão de saltos na frequência. O dispositivo que coordena

esta sincronização é conhecido como o *Master* e todos os outros ligados a ele são os *Slaves*, formando assim uma *piconet*.

A *piconet* é a forma fundamental de comunicação para a tecnologia *Bluetooth*. Numa *piconet* o padrão de saltos na frequência é determinado não só pelo protocolo mas também pelo relógio do *Master*. Este padrão é uma ordenação pseudo-aleatória das 79 frequências existentes na banda utilizada. O *Master* pode excluir uma porção das frequências se estas estiverem a ser utilizadas por dispositivos que gerem interferência.

Também existe outro tipo de saltos em frequência, chamado *Adaptative Frequency Hopping*, que melhora a co-existência da tecnologia *Bluetooth* com outros sistemas que utilizam a banda ISM, quando estes estão próximos. A Figura 6 representa a arquitectura *Master – Slaves* tipicamente utilizada nas redes de *Bluetooth.*

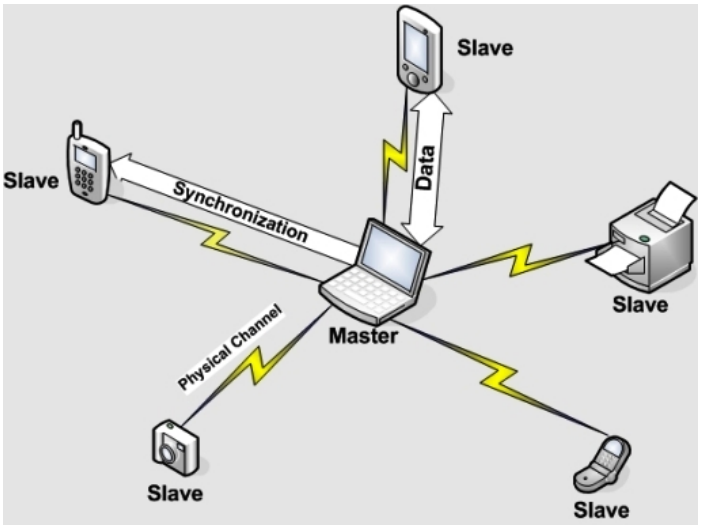


Figura 6 – Rede de *Bluetooth*, [9].

Os canais utilizados estão divididos em *slots* temporais e os dados a serem transmitidos via *Bluetooth* são organizados em pacotes e posicionados nesses *slots*. Em certas circunstâncias pode ser atribuído mais de um *slot* a um pacote. O salto em frequência ocorre entre a transmissão ou recepção de um pacote. Devido à utilização dos *slots* temporais, o sistema funciona em *full duplex*.

Em Julho de 2010, foi adoptada a versão 4.0 de *Bluetooth* que permite consumos ainda mais baixos que nas versões anteriores, mantendo o baixo custo dos componentes, permite uma interoperabilidade entre diferentes marcas e tem um alcance superior, [9].

2.4 - Sistemas de Comunicações Móveis

2.4.1 - Introdução

Actualmente, para aceder de modo remoto à *Internet* existem diversos tipos de dispositivos que permitem velocidades de comunicação diferentes, de acordo com as tecnologias disponíveis. Tendo por base os dispositivos utilizados pela operadora de comunicações móveis TMN, estes

utilizam as tecnologias GPRS e EDGE, de GSM e HSDPA, HSUPA e HSPA+, de UMTS, [10]. Estas tecnologias são descritas de forma breve nas subsecções que se seguem.

2.4.2 - GPRS/GSM

O GPRS é um serviço de transmissão de dados por pacotes para comunicações sem fios, utilizado nas redes GSM ou 2G. O GPRS aplica o princípio de comutação de pacotes (*packet switching*), de modo a transferir pacotes de dados de forma eficiente entre as estações de base GSM e redes externas como por exemplo, a *Internet*. Segundo o princípio de *packet switching*, os dados a serem transmitidos são divididos em pacotes, enviados separadamente e depois reagrupados no receptor. O GPRS suporta os protocolos IP, permitindo assim que as redes móveis se tornem extensões sem fios das redes IP.

O GPRS permite a criação quase instantânea de ligações assim como ligações contínuas com a *Internet*. Os utilizadores de GPRS podem ligar-se a um AP para terem acesso a variados serviços, ficando continuamente ligados e pagando apenas os dados transmitidos. Deste modo, a largura de banda disponível é utilizada de forma muito mais eficiente que anteriormente, quando se utilizava comutação de circuitos (*circuit switching*), onde os utilizadores ficavam ligados ocupando um canal até desligarem a comunicação, uma vez que os canais são atribuídos aos utilizadores com base na necessidade de transmissão dos pacotes.

As velocidades de transmissão utilizando GPRS, variam de acordo com a classe de GPRS disponível no dispositivo. Classes mais elevadas utilizam mais *timeslots* para a transmissão de dados, atingindo assim maiores velocidades. Estas velocidades são de cerca de 56 kbps, para classes superiores, [11].

2.4.3 - EDGE/GSM

O EDGE (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*) é uma tecnologia de transmissão de dados superior ao GPRS que aproxima um pouco mais as redes 2G das redes 3G em termos de velocidades de transmissão de dados, atingindo velocidades superiores a 200 kbps. Em relação à tecnologia GPRS, foram alterados diversos aspectos como a modulação e os esquemas de codificação de dados. Em termos de implementação, na maior parte dos casos, o EDGE precisa apenas de um *upgrade* de *software* numa rede que já utilize GPRS, [12,13,14].

2.4.4 - HSDPA/UMTS

O UMTS utiliza uma tecnologia WCDMA (W*ideband Code Division Multiple Access*) para transmissão de dados. Esta tecnologia permite uma alta eficiência espectral para voz e dados, a transmissão em simultâneo de voz e dados, servir uma grande densidade de utilizadores com um baixo custo a nível de infra-estrutura e o suporte para aplicações que necessitem de uma grande largura de banda.

O HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) é um *upgrade* à tecnologia WCDMA, que consegue atingir picos de velocidade de cerca de 14 Mbps, e aumenta a média de velocidade para cerca de 1 Mbps, 3.5 vezes superior ao WCDMA.
O HSDPA atinge a sua velocidade de transmissão de dados fazendo uso de métodos similares aos utilizados pelo EDGE para superar o GPRS, ou seja, modulação mais eficiente, codificação variável e um aumento de redundância, assim como a introdução de novas técnicas. O HSDPA utiliza canais de alta velocidade chamados *High Speed – Downlink Shared Channels* (HS-DSCH). Em cada canal de rádio de 5 MHz do WCDMA, podem existir até 15 canais HS-DSCH. O número de canais atribuídos a cada utilizador varia em intervalos de 2 ms, valor consideravelmente menor que os 10-20 ms utilizados em WCDMA, o que faz com que os recursos da rede sejam constantemente ajustados. O *fast scheduling* atribui canais aos utilizadores com as melhores condições de canal mas mantém sempre um nível mínimo de velocidade para cada um, num sistema de atribuição "justa" de canais, [14].

2.4.5 - HSUPA/UMTS

O HSUPA (*High Speed Uplink Packet Access*) foi criado para aumentar a capacidade de transmissão no sentido *uplink*, devido às necessidades dos utilizadores, que cada vez mais utilizam aplicações onde é necessário fazer *upload* de dados, em oposição ao que acontecia, até agora, onde o tráfego era maioritariamente no sentido *downlink*. O HSUPA utiliza os mesmos mecanismos e técnicas utilizadas pelo HSDPA, mas aplicados ao *uplink*. A diferença fundamental reside na utilização de um canal dedicado por utilizador, chamado E-DCH (*Enhanced Dedicated Channel*), que resulta num tratamento diferente dos recursos de rádio. Neste caso, os utilizadores não se encontram sincronizados como no sentido *uplink*, podendo estar a transmitir em simultâneo, o que pode originar interferências. Para diminuir estas interferências o HSUPA controla o nível de potência dos sinais enviados de acordo com as necessidades da rede, para minimizar as interferências, [15].
Uma rede que utilize HSDPA e HSUPA diz-se que utiliza apenas HSPA (*High Speed Packet Access*).

2.4.6 - HSPA+/UMTS

O HSPA+ é a evolução do HSPA que se consegue através de diversas melhorias no sistema. Para além da utilização de modulações de ordem superior e de receptores mais avançados e com possibilidade de diversidade na recepção, destaca-se a possibilidade de alguns utilizadores ficarem permanentemente ligados utilizando a técnica *Continuous Packet Connectivity* e a utilização do conceito de *Dual Carrier Operation*, onde dois canais de 5 MHz são agrupados e atribuídos a um utilizador. Todas estas técnicas têm por objectivo aumentar as velocidades de transmissão e capacidade das redes, [15].

2.5 - *Structured Query Language* (SQL)

2.5.1 - Introdução

Em 1970, o Dr. E. F. Codd publicou o artigo cientifico "*A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks*" que se tornaria a base do sistema relacional de bases de dados (BD), ao descrever uma nova maneira de estruturar os dados de uma BD levando-a até aos sistemas de BD que se utilizam hoje e dia. Com base neste artigo, os colegas de Codd, Donald D. Chamberlin e Raymond F. Boyce desenvolveram uma linguagem de consulta de nome SQUARE (*Specifying Queries As Relational Expressions*) que utilizava a teoria de Codd de modo a seleccionar dados de uma BD.
Em 1974, Chamberlin e Boyce publicaram o artigo "*SEQUEL: A Structured English Query Language*", uma nova linguagem em muitos aspectos igual à SQUARE mas onde existiu o cuidado de criar uma estrutura de programação que fosse prática e fácil de perceber e alterar, [16,17].
Utilizando como exemplo a consulta de nomes e salários de empregados que pertencem ao departamento de brinquedos e que têm como gerente o sr. Anderson, a consulta com recurso a SQUARE seria especificada do seguinte modo:

NAME, SAL EMP DEPT, MGR ('TOY', 'ANDERSON')

Utilizando SEQUEL esta mesma consulta teria o formato:

```
SELECT NAME, SAL
FROM EMP
WHERE DEPT = 'TOY'
AND MGR = 'ANDERSON'
```

Como se pode observar, a sintaxe da linguagem SEQUEL tem vantagens por ser mais perceptível e mais fácil de aprender por novos utilizadores. Ambas são linguagens declarativas no sentido em que se pede o que se quer consultar e não como se deve chegar ao resultado, como é o caso em outras linguagens, não declarativas.
Mais tarde, o nome foi alterado para *Structured Query Language*, devido a disputas legais em relação ao nome SEQUEL embora a pronúncia da palavra se mantenha, [17,18].
Embora o SQL tenha sido criado pela IBM, rapidamente surgiram variações desenvolvidas por outras empresas. Esta expansão levou à necessidade de criação de uma norma para a linguagem. Esta tarefa foi realizada pela ANSI (*American National Standards Institute*) em 1986 e pela ISO (*International Organization for Standardization*), em 1987.
O SQL foi revisto ainda em 1992 e a esta versão foi dada o nome de SQL-92 e novamente em 1999 e 2003 para se tornar SQL:1999 (SQL3) e SQL:2003, respectivamente, [18].

Tal como dito anteriormente, o SQL, embora tenha as normas desenvolvidas pela ANSI e ISO, possui muitas variações e extensões produzidas pelos diferentes fabricantes de sistemas de BD. Tipicamente a linguagem pode ser migrada de plataforma para plataforma sem grandes mudanças estruturais. Na presente dissertação, a linguagem utilizada é a T-SQL (*Transact-SQL*), propriedade da *Microsoft* e *Sybase*, uma vez que foi utilizado o programa *Microsoft SQL Server 2008* para criar e alterar as bases de dados necessárias.

Na Figura 7 pode ver-se um exemplo típico de um servidor SQL, neste caso utilizando o programa Microsoft SQL Server.

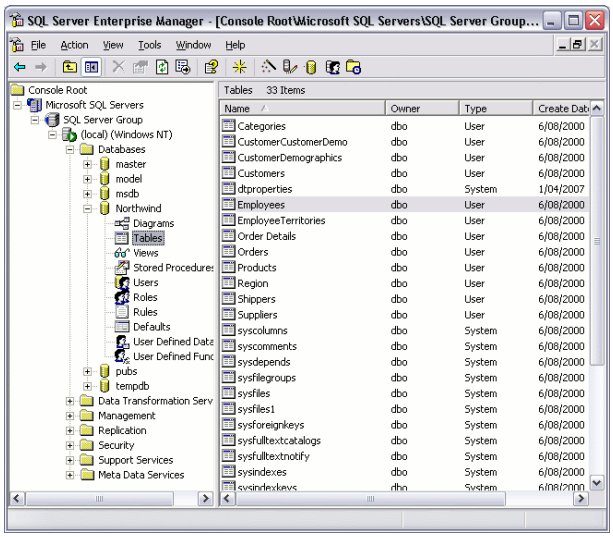


Figura 7 – Tabela tipica de um servidor SQL.

2.5.2 - Visão geral dos elementos da linguagem

Existem diversos tipos de elementos na linguagem SQL, alguns dos quais apresentados de seguida, podendo ser visualizados na Figura 8:

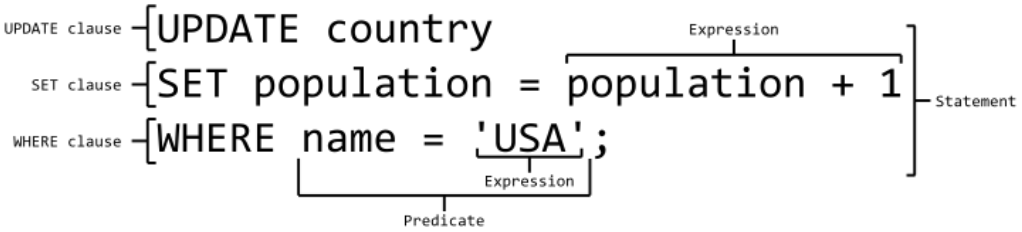


Figura 8 – Alguns elementos da linguagem SQL, numa instrução, [20].

- Cláusulas (*Clauses*) – Elementos constituintes das *queries* e *statments* utilizados.
- Expressões (*Expressions*) – Elementos que podem alterar valores de variáveis ou servir como termos de comparação.
- Predicados (*Predicates*) – Elementos que especificam condições a serem avaliadas e servem para limitar os efeitos das declarações e consultas.
- Declarações (*Statments*) – Expressões que podem ter efeitos persistentes nas bases de dados como alteração, adição e remoção de dados, entre outros efeitos.
- Consultas (*Queries*) – Expressões utilizadas para consultar dados das bases de dados, utilizando determinados critérios. Em seguida, este elemento será abordado de forma

mais exaustiva, devido à sua função fundamental na elaboração do projecto da dissertação, [20].

2.5.3 - Consultas (*Queries*)

As consultas ou *queries* são as operações mais vulgares em SQL, iniciando-se sempre com a declaração *SELECT*. Esta declaração permite a consulta de dados de uma ou mais tabelas ou expressões. Normalmente, a declaração *SELECT* não tem efeitos permanentes na base de dados uma vez que a sua função é apenas de consulta.
Uma consulta inclui uma lista de colunas a serem mostradas como resultado final a seguir à declaração *SELECT*. Em vez desta lista, é possível ter o caracter *, o que indica todas as colunas das tabelas consultadas. Uma vez que qualquer tipo de informação pode ser consultado e o resultado é mostrado de acordo com as colunas escolhidas pelo utilizador, a declaração *SELECT* é considerada uma das mais complexas da linguagem SQL.
Seguidamente são explicadas algumas das palavras-chave e cláusulas utilizadas com esta declaração:

- *MIN* – Após a consulta apenas o menor valor é retornado.
- *DISTINCT* – Retorna apenas valores diferentes de modo a não haver repetições.
- *FROM* – Indica a tabela a ser consultada. A seguir a esta cláusula, pode utilizar-se a subcláusula *JOIN*, de modo a juntar tabelas de determinada maneira. Esta junção pode ser de vários tipos: *LEFT JOIN* ou *RIGHT JOIN* que retornam todas as linhas da tabela da esquerda ou direita, respectivamente, se não existirem dados comuns com a outra tabela da junção; *INNER JOIN* que só retorna linhas se existirem resultados em ambas as tabelas; *FULL JOIN* que retorna linhas desde que hajam resultados numa das tabelas.
- *WHERE* – Cláusula que serve de predicado de comparação, de modo a restringir as linhas devolvidas pelo resultado da consulta. Se o resultado de uma comparação não for *TRUE*, a linha não aparece nos resultados da consulta.

Existem muitas mais instruções, mas as apresentadas anteriormente são as mais utilizadas no projecto da presente dissertação. Na Figura 9 pode ver-se uma das instruções utilizadas, mais complexa, onde se realiza uma consulta para encontrar um valor que é utilizado na consulta principal da instrução, [20,21].

```
SELECT DISTINCT [ID do Utilizador]
FROM Bombeiros.dbo.Utilizadores
WHERE Bombeiros.dbo.Utilizadores.Operação = (   SELECT DISTINCT Operação
                                                FROM Bombeiros.dbo.Utilizadores
                                                WHERE [ID do Utilizador] = '1234CCOM001' )
AND Bombeiros.dbo.Utilizadores.[ID do Utilizador] != '1234CCOM001'
```

Figura 9 – Exemplo de uma instrução SQL utilizada no projecto da dissertação.

No Anexo D encontra-se o código SQL utilizado no projecto.

2.6 - *Keyhole Markup Language* (KML)

2.6.1 - Introdução

O KML é uma linguagem que serve para apresentar dados geográficos em *browsers* da Terra, como o *Google Earth* e o *Google Maps*. O KML é um *standard* internacional mantido pelo OGC (*Open Geospatial Consortium*, *Inc*) e utiliza uma estrutura com base em *tags* e elementos e atributos agrupados e é baseada na norma da XML (*Extensible Markup Language*).

A Figura 10 mostra o que se pode apresentar num *browser* da Terra como por exemplo, o *Google Earth*.

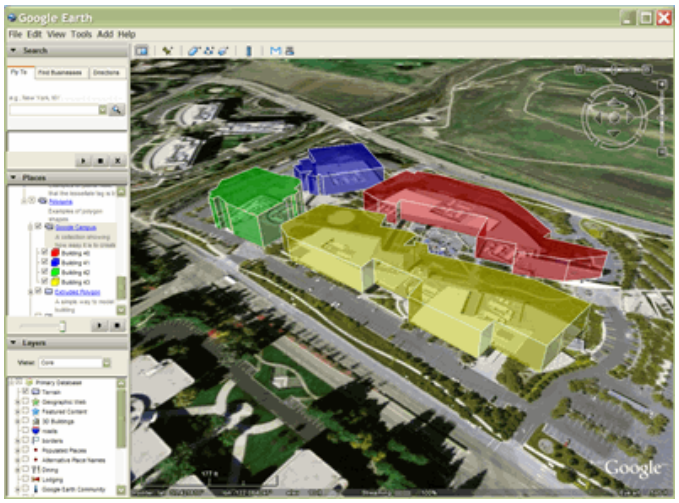


Figura 10 – *Google Earth*, [22].

2.6.2 - Visão geral dos elementos da linguagem

De forma a ilustrar mais facilmente o modo de organização da linguagem KML, mostra-se a seguir, uma das instruções mais básicas, a criação de um ponto:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<kml xmlns="http://www.opengis.net/kml/2.2">

 <Placemark>
   <name>Simple placemark</name>
   <description>Attached to the ground. Intelligently places itself at the height of the underlying terrain.</description>
   <Point>
     <coordinates>-122.0822035425683,37.42228990140251,0</coordinates>
   </Point>
 </Placemark>

</kml>
```

Tal como pode ser visto no exemplo dado, a estrutura de um ficheiro KML é a seguinte:

- Cabeçalho XML – Essencial no início de qualquer documento KML. É sempre a primeira linha do documento.
- Declaração do *namespace* KML – Tal como o cabeçalho XML, é também essencial sendo sempre a segunda linha do documento.
- Declaração do elemento – Marca o início das propriedades do elemento (neste caso, um ponto descrito entre as linhas *<Placemark>* e *</Placemark>*) a ser marcado no *browser*.
- Propriedades do elemento – Todas as propriedades necessárias para que o elemento, neste caso o ponto, seja mostrado no local correcto. Cada elemento a ser mostrado tem um conjunto de propriedades diferentes que podem ser opcionais ou não. No caso do exemplo anterior, as propriedades do elemento *Placemark* são o nome (name), a sua descrição (description) e as suas coordenadas (coordinates), agrupadas no elemento *Point*. Toda esta documentação é facilmente acedida através do *website* da *Google*, sobre o tema, [22].

2.6.3 - *Update* e *Network Link Control*

Os ficheiros KML, ao serem abertos pelo *Google Earth*, permanecem inalterados, a menos que se modifiquem manualmente no *browser*. Para se alterarem os elementos criados pelo ficheiro de forma automática, é necessário utilizar o elemento *Update*, que pertence ao elemento *Network Link Control*. O *Network Link Control*, juntamente com o elemento *Network Link*, possibilita a abertura de ficheiros KML através de um endereço *http*, permitindo assim utilizar ficheiros que não se encontram no terminal do utilizador, bem como a sua manipulação através do elemento *Update*. O *Update*, através dos elementos *Change*, *Create* e *Delete* permite alterar, criar e apagar, respectivamente, elementos existentes no *browser* e criados inicialmente por outro ficheiro. O funcionamento do *Update* é mostrado na Figura 11.

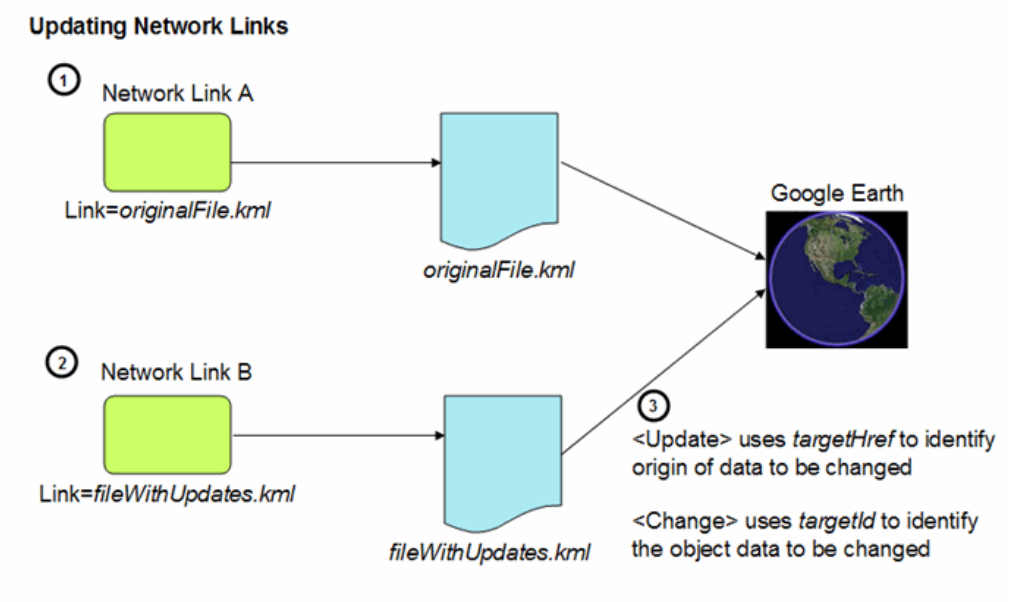


Figura 11 – Funcionamento da função *Network Link*, [22].

Para que o *Update*, a partir do *Network Link*, funcione, são necessários quatro ficheiros:

1. O ficheiro com as posições originais;
2. O ficheiro com a ligação (*Network Link*) ao primeiro ficheiro;
3. O ficheiro com as alterações a fazer ao ficheiro original;
4. O ficheiro com uma ligação (*Network Link*) ao terceiro ficheiro.

O ficheiro inicial é um ficheiro KML normal, contendo apenas as posições e linhas iniciais. Todos os elementos a serem alterados posteriormente têm que estar identificados com um *ID* único. O segundo ficheiro contém o *link* para o primeiro e apenas serve para o abrir no *Google Earth*. No terceiro ficheiro, um pouco mais complicado, tem que constar o nome do primeiro e todas as alterações a serem feitas a esse ficheiro. Isto consegue-se utilizando a propriedade *targetId* com o *ID* do elemento a ser alterado ou apagado. O quarto e último ficheiro contém o *link* para abrir o terceiro, no *Google Earth*, mas, para além disso, deverá conter também propriedades temporais que fazem com que o *Google Earth* abra o terceiro ficheiro de forma periódica, de acordo com um determinado intervalo de tempo. Alterando apenas o terceiro ficheiro de forma periódica, consegue-se assim uma amostragem dinâmica de elementos no *Google Earth* necessitando apenas de abrir dois ficheiros, os que contêm os *Network Links*, e apenas uma vez, cada um.
Os elementos temporais utilizados são o <*refreshMode*>, onde se indica *onInterval*, para que seja uma alteração com base num intervalo de tempo e o <*refreshInterval*> onde se coloca qual é esse intervalo, [22].
Os ficheiros utilizados no projecto podem ser visualizados no Anexo E.

Capítulo 3 - Sistema Desenvolvido

3.1 - Introdução

Neste capítulo descreve-se o sistema desenvolvido para a presente dissertação. Na secção acerca do estado da arte são descritos os sistemas já existentes na área de posicionamento coordenado. Seguidamente discutem-se as hipóteses existentes para a arquitectura de um sistema deste tipo, que se conclui com a escolha e justificação da arquitectura utilizada. A seguir é descrita a arquitectura do sistema desenvolvido e os dispositivos utilizados e finalmente, todas as funcionalidades das aplicações criadas são descritas e caracterizadas.

3.2 - Estado da Arte

Actualmente, existem inúmeros dispositivos capazes de mostrar a localização de um utilizador num mapa, através de coordenadas GPS. Muitos deles também já possibilitam a marcação de caminhos através da utilização de *waypoints*. Normalmente estes dispositivos não partilham informação em tempo real, uns com os outros, não permitindo que se construa uma rede de partilha de dados.

No entanto, existem alguns sistemas que permitem trocas de dados, nomeadamente o sistema *I-Garment*, desenvolvido pela *Y-Dreams* em conjunto com o Instituto de Telecomunicações de Aveiro, para utilização dos bombeiros. Este sistema funciona como um sistema de recolha de dados individuais, permitindo armazenar dados relativos às situações de combate a incêndios e dar a conhecer as posições dos bombeiros a actuar no terreno. O equipamento integrado no fato de bombeiro pode ser visto nas Figuras 12 e 13.

Figura 12 - Equipamento utilizado no sistema *I-Garment*, parte superior, [24].

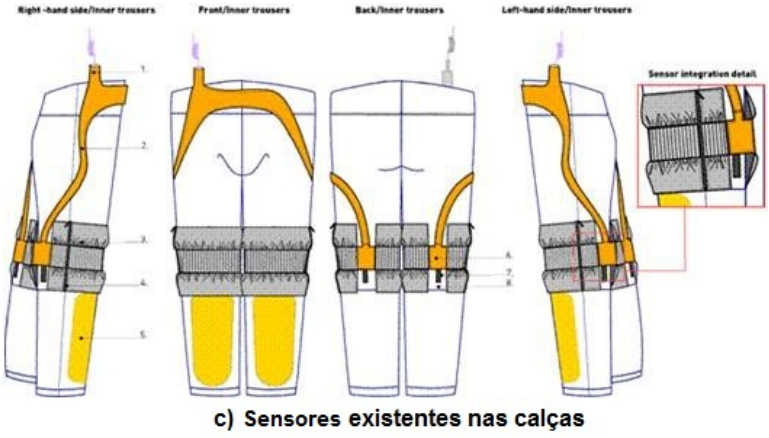


Figura 13 – Equipamento utilizado no sistema *I-Garment,* parte inferior, [24].

Como se pode observar nas figura 12 e 13, os vários sensores estão ligados a uma mochila transportada às costas do utilizador, que transmite os dados para os veículos que por sua vez os retransmite para a central. O funcionamento deste sistema pode ser visto na Figura 14.

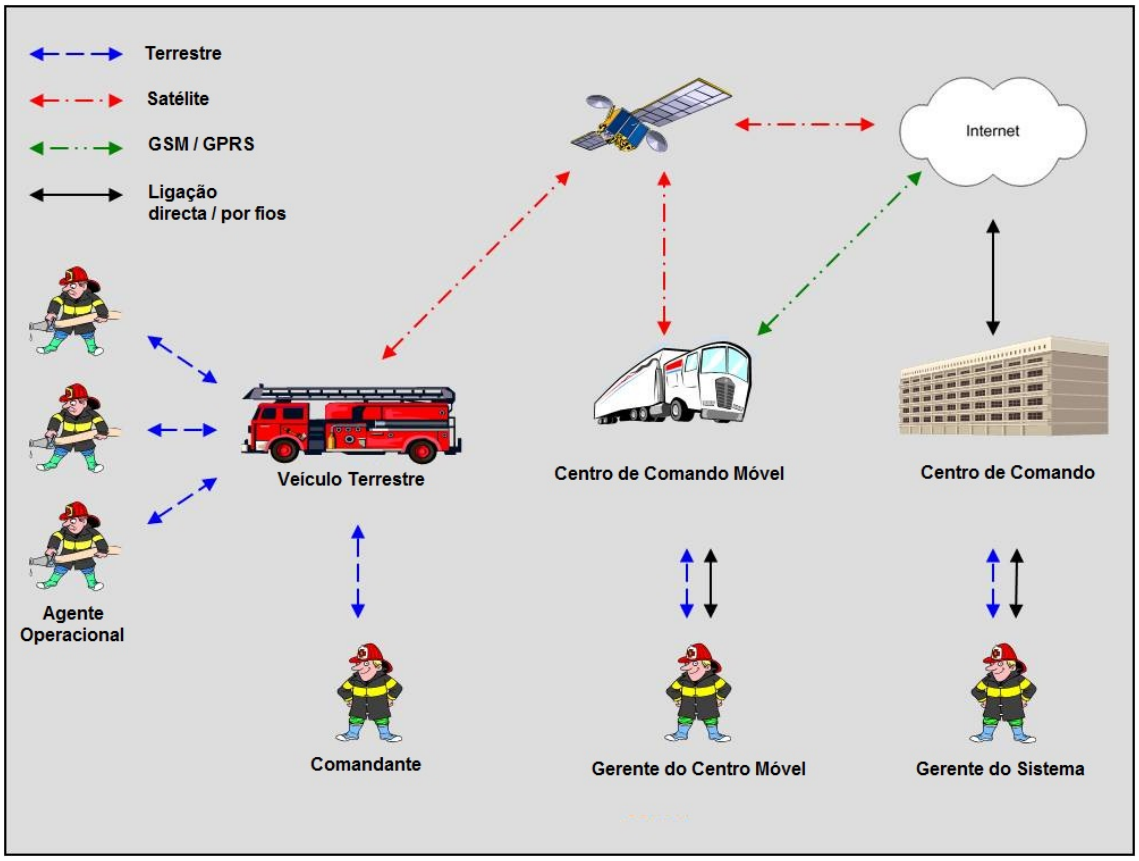
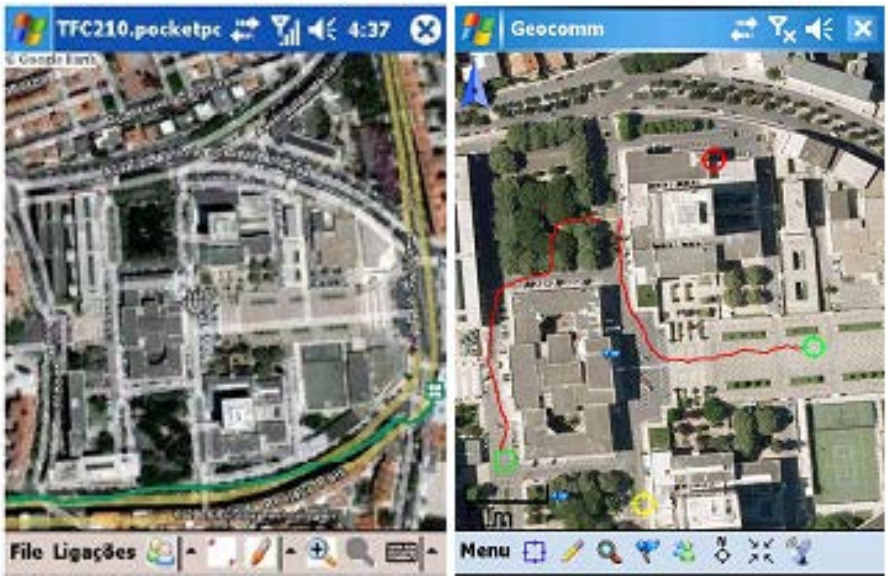


Figura 14 – Funcionamento do sistema *I-Garment*, [24].

O *I-Garment* trata dados recolhidos apenas pelo utilizador a pé, enquanto o sistema desenvolvido para a presente dissertação, como vai ser explicado neste capítulo, trata os dados recolhidos pelos veículos que são depois trocados entre si, através de um servidor na

central. No capítulo 5 são discutidas alterações e possíveis expansões do projecto, algumas delas com a possibilidade de poderem integrar algumas das funcionalidades do *I-Garment* no sistema, [24].

Para além deste, também foram desenvolvidos outros sistemas do género, como trabalhos finais de curso no Instituto Superior Técnico, nomeadamente o TFC 210, desenvolvido pelos alunos Daniel Santos e Ricardo Matos, em 2006, e o "*Geocommunicator*: Sistema de posicionamento coordenado baseado em GPS", pelo aluno Filipe Tocha, em 2008. Ambos os trabalhos foram orientados pelo professor José Sanguino e pelo professor António Rodrigues. Os dois sistemas foram desenvolvidos com uma arquitectura Servidor – Clientes onde os clientes utilizam PDAs (*Personal Digital Assistants*) como plataformas para as suas aplicações. Estes sistemas não só partilham muitos aspectos entre si como com o projecto da presente dissertação. O TFC 210, devido às capacidades dos PDAs na altura do seu desenvolvimento, utiliza um sistema de distribuição de mapas para garantir que em cada unidade apenas ficam armazenados os mapas essenciais, [27]. O projecto *Geocommunicator*, desenvolvido posteriormente ao TFC 210, é uma melhoria em relação a este, e introduz funcionalidades novas. Ambos permitem a troca de coordenadas de posicionamento entre os utilizadores, assim como de mensagens curtas e desenhos sobre o mapa. O *Geocommunicator* introduziu a autenticação de utilizadores e melhorou vários outros aspectos como por exemplo, a gestão de energia e transmissão de dados. Para além disso, este projecto foi também desenvolvido utilizando uma linguagem de programação de nível mais baixo que o TFC 210, com o intuito de obter um melhor desempenho. Na Figura 15 podem ver-se as janelas das aplicações desenvolvidas para estes dois projectos, [23].



a) TFC 210 **b) Geocommunicator**

Figura 15 – Janelas de duas aplicações de posicionamento coordenado desenvolvidas para PDA, [23].

3.3 - Arquitectura do Sistema

3.3.1 - Duas possibilidades: Servidor – Clientes e *Peer-to-Peer*

3.3.1.1 - Servidor – Clientes

A arquitectura Servidor – Clientes é um modelo computacional de organização de uma estrutura de aplicações distribuídas, que partilham tarefas entre os diferentes intervenientes. De um lado, a parte que fornece um determinado serviço ou recurso, o servidor, do outro, a parte que utiliza esse recurso ou serviço, o cliente. Normalmente, os clientes e servidores comunicam numa rede de computadores em dispositivos separados, embora ambos possam co-existir no mesmo. Um servidor é um *host* que está a correr determinadas aplicações com o intuito de partilhar os seus recursos ou serviços com clientes. Um cliente não partilha os seus recursos mas pede serviços e recursos a um servidor. Por esta razão, normalmente são os clientes que iniciam a comunicação com o servidor, que se encontra à espera de ligações, [25].
Na Figura 16, está representado este tipo de arquitectura.

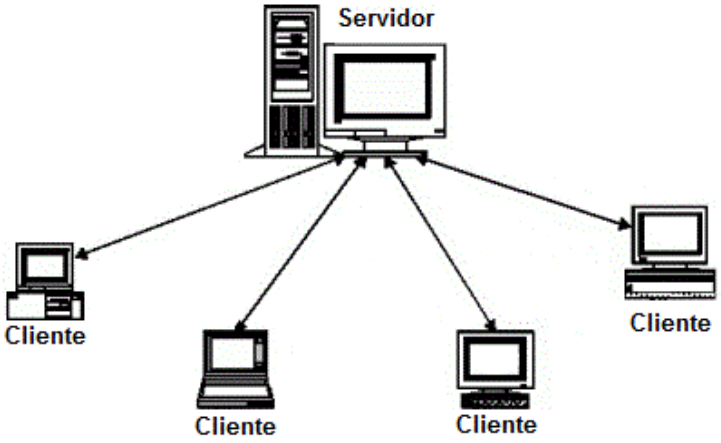


Figura 16 – Arquitectura Servidor – Clientes, [25].

3.3.1.2 - *Peer-to-Peer*

Uma rede distribuída pode ser chamada P2P (*Peer-to-Peer*) se os seus utilizadores partilham os seus recursos de hardware, sejam eles capacidade de processamento, capacidade de armazenamento, capacidade de rede, impressoras. Estes recursos partilhados são necessários para a rede cumprir o seu objectivo, que pode ser, por exemplo, partilha de ficheiros e estão disponíveis para os outros utilizadores directamente, isto é, sem ser necessário utilizar entidades intermediárias. Os participantes numa rede deste tipo são considerados não só fornecedores de recursos mas também requerentes dos mesmos, ou seja, são servidores e clientes dependendo da sua necessidade e da necessidade da rede. Se é possível que qualquer um dos utilizadores seja removido da rede sem que exista impacto na mesma (com excepção do impacto na *performance*), dá-se à rede o nome de P2P pura. Neste caso todos os utilizadores têm o mesmo nível de participação na rede, não existindo nenhum com funções especiais ou administrativas, [25].
Na Figura 17 pode ver-se o esquema de uma rede deste tipo.

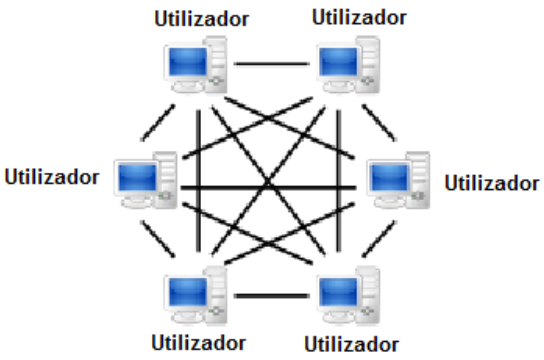


Figura 17 – Arquitectura P2P, [25].

3.3.2 - Vantagens da arquitectura Servidor-Clientes face à P2P [25]

- Na arquitectura Servidor-Clientes todos os dados são armazenados nos servidores, que normalmente têm um grau de segurança maior que a maioria dos clientes. Para além disso, os servidores podem controlar melhor quais os clientes com determinados acessos através de sistemas de permissões;
- Uma vez que os dados são armazenados de uma forma centralizada, os *updates* feitos a esses dados são mais fáceis de administrar quando comparando com uma rede P2P. Nesta, todos os *updates* têm de ser distribuídos e aplicados a cada utilizador da rede, o que, para além de demorar mais tempo, torna esses dados mais susceptíveis a erros, pois a mesma alteração tem que ser efectuada inúmeras vezes (tantas quantas o número de utilizadores);
- Funciona com clientes de diversos tipos, desde que estes respeitem os protocolos de comunicação;
- É relativamente fácil substituir clientes uma vez que todos os recursos estão no servidor.

3.3.3 - Desvantagens da arquitectura Servidor-Clientes perante a P2P [25]

- Com o aumento de pedidos simultâneos dos clientes, o servidor pode ficar sobrecarregado. Isto não acontece numa rede P2P onde a largura de banda disponível aumenta à medida que mais utilizadores são adicionados, visto que a largura de banda global deste tipo de arquitectura pode ser aproximada pela soma das larguras de banda de cada um dos *peers* na rede;
- A arquitectura Servidor-Clientes não tem a robustez de uma P2P bem implementada. Na primeira, se existir uma falha crítica nos servidores, os pedidos dos clientes falham enquanto que na segunda, os recursos estão distribuídos por vários utilizadores. Se um ou mais falharem, os restantes continuam a poder responder aos pedidos da rede.

3.3.4 - Arquitectura utilizada no projecto da dissertação

Apesar de, numa fase inicial, o projecto da dissertação ter sido implementado como uma rede *Peer-to-Peer*, a necessidade de utilizar permissões levou à implementação do sistema numa arquitectura Servidor-Cliente. Esta escolha também facilita a alteração do estatuto e permissões de um utilizador em qualquer altura, através do servidor SQL presente no Servidor da rede. Uma vez que, devido ao sistema de permissões, todos os pedidos de informação e dados têm que passar pelo servidor, a arquitectura escolhida foi considerada a melhor opção de entre as equacionadas. A arquitectura *Peer-to-Peer* facilita a distribuição dos mapas pela rede mas, tendo em conta que as unidades dos utilizadores têm grande capacidade para armazenar mapas, esta funcionalidade não será muito utilizada.
O servidor funciona como uma central para distribuir os dados pelos clientes autorizados com possibilidade de introduzir novos mapas e dados sobre mapas existentes na rede. Todos os clientes necessitam de estar registados na base de dados do servidor antes de se conseguirem ligar à rede.

3.4 - Sistema proposto e dispositivos utilizados

Utilizando uma arquitectura servidor-clientes, como visto anteriormente, o sistema tem a seguinte arquitectura, que pode ser vista na Figura 18.

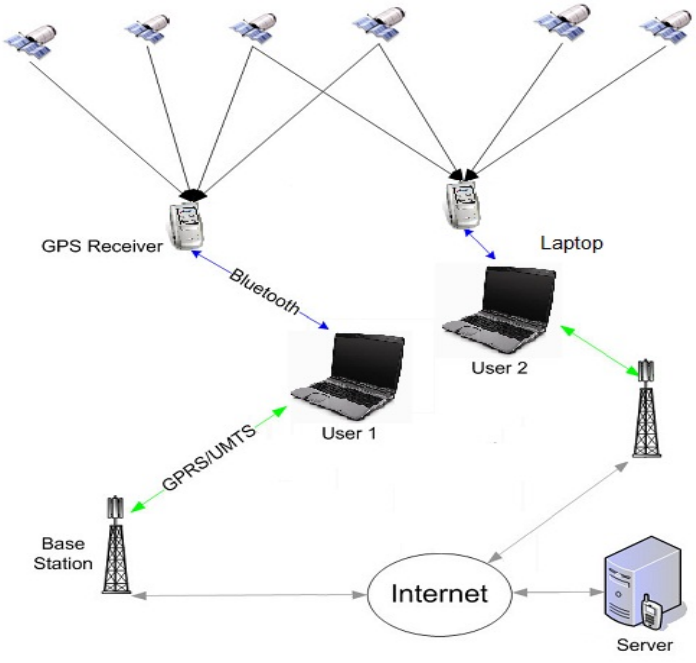


Figura 18 – Arquitectura do sistema desenvolvido.

Como se pode ver na Figura 18, existe um servidor e vários utilizadores. Estes utilizadores são os clientes do sistema. Para fazer esta diferenciação, foram desenvolvidas duas aplicações: uma aplicação Cliente e outra Servidor. O sistema foi pensado para ser utilizado nos veículos em uso pela protecção civil, o que faz com que estes sejam os clientes do sistema. Como

clientes do sistema desenvolvido, necessitam estar devidamente equipados para o poderem utilizar. Como ponto de partida, os veículos têm de estar equipados com computadores. Os computadores escolhidos para este fim têm dois monitores, o que permite repartir a informação a divulgar ou mostrá-la em dois locais ao mesmo tempo, por exemplo, a parte da frente e traseira do veículo. Para além disso, os ecrãs são tácteis, sendo desnecessário o uso de rato. Os modelos pensados para este fim foram os da marca *Sunit, In-Vehicle Computers*. Como requisito de *software*, estes computadores têm que utilizar o sistema operativo *Windows*, neste caso, *Windows* XP. A Figura 19 mostra um destes modelos.

Figura 19 – Exemplo de computador para instalar num veículo, da marca *Sunit – In-Vehicle Computers*, classe d.

Dependendo do modelo, estes computadores podem ter um receptor GPS integrado, assim como um módulo GPRS/EDGE ou superior e alguns ainda têm bússola. Todos os utilizadores necessitam também de conhecer as suas posições sob a forma de coordenadas geográficas, a fim de informar os restantes membros da rede. Assim, todos os veículos necessitam de um ou dois receptores GPS. No caso de terem dois, torna-se possível mostrar aos outros utilizadores da rede a orientação do veículo. Todos os dispositivos utilizados fazem uso de *Bluetooth* para comunicarem com os computadores com que estão emparelhados de modo a ser mais fácil manobrar o equipamento. Tal não será necessário se o receptor estiver integrado no computador. A Figura 20 mostra os receptores utilizados no projecto e Tabela 1 algumas das suas especificações.

(a) BT-1300 **(b)** GP-600 **(c)** BT-338

Figura 20 – Receptores GPS com ligação *Bluetooth.*

Tabela 1 - Especificação dos receptores GPS utilizados

Model	Transfer Rate (bps)	Channels	Acquisition time (Hot/Warm/Cold)
BT-1300 (QStarz)	115200	66	1/33/35 (sec)
GP-600 (ANYCOM)	38400	15	8/38/45 (sec)
BT-338 (GlobalSat)	38400	20	1/38/42 (sec)

Para além disso, todos os computadores da rede necessitam de ligação ao servidor, ligação só possível utilizando os receptores móveis de ligação à *Internet* de um dos operadores móveis existentes ou os módulos integrados nos computadores, caso existam e depois de devidamente configurados. Na Figura 21, podem ver-se alguns exemplos dos receptores utilizados pelos operadores móveis.

Figura 21 – *Modems* para acesso à *Internet* móvel de três operadoras portuguesas.

No caso do servidor, apenas é necessário um computador com ligação à *Internet* uma vez que este se encontra no quartel e não necessita de enviar para a rede a sua posição ou orientação. Para além de *Windows*, o servidor também necessita do *programa Microsoft Windows SQL Server 2005* ou superior, para poder interagir com a base de dados SQL.

3.5 - Aplicação para os terminais portáteis

3.5.1 - Introdução

Nesta secção descrevem-se todas as funcionalidades da aplicação Cliente, que se pretende que seja utilizada nos terminais móveis, que, como foi discutido anteriormente, são os veículos utilizados nas operações de protecção civil. Seguidamente, vai ser descrito todo o processo de inicialização da aplicação desenvolvida, sendo depois listadas e caracterizadas todas as funcionalidades da mesma.

3.5.2 - Inicialização

A aplicação Cliente, quando iniciada, começa por abrir os ficheiros de configuração *Config.txt* e *Config_GPS.txt*. Do primeiro ficheiro o cliente retira o seu *ID*, a escolha sobre se deve utilizar dois receptores, retira o endereço do servidor e a porta através da qual se deve ligar ao

mesmo. O seu *ID* tem que ser único e deve coincidir com um *ID* presente na base de dados do servidor. A opção sobre se deve ou não utilizar dois receptores serve para a aplicação saber se deve tentar ler informação de posicionamento de dois receptores GPS com a finalidade de mostrar a orientação do veículo ou se deve ler a informação apenas de um receptor e mostrar a sua posição no mapa. O endereço e porto do servidor servem para o cliente estabelecer uma ligação com o mesmo. Do segundo ficheiro são retirados todos os dados necessários à ligação com o(s) receptor(es) GPS. De seguida, o cliente tenta estabelecer uma ligação com o(s) receptor(es) para que, no momento em que a aplicação colocar um mapa na janela, a sua posição seja logo marcada e visualizada. Caso o(s) receptor(es) não tenha(m) um sinal válido ou exista algum problema na ligação, é possível tentar de novo, manualmente, após a inicialização do programa. Seguidamente, o cliente lê o ficheiro *InfoMapas.txt*, de onde retira todos os dados acerca dos mapas a utilizar, criando uma lista e tenta, se tiver um sinal válido de GPS, descobrir qual o primeiro mapa onde o mesmo se encontra. Caso não tenha sinal válido de GPS, o cliente abre o primeiro mapa da lista.

Ainda antes de apresentar a janela ao utilizdor, o cliente abre o ficheiro *Esquemas.txt* de onde retira os dados sobre os esquemas, guardando-os noutra lista. Depois de obter todos os dados necessários ao seu funcionamento, o cliente pinta a sua janela e mostra-a ao utilizador, maximizada. Na Figura 22, mostra-se a janela do cliente.

Figura 22 – Janela da aplicação Cliente.

Como se pode observar, existem cinco botões de *interface* na janela:

- "Menu" – Faz aparecer o menu de opções;
- "Prox Mapa" – Altera o mapa desenhado na janela para o mapa seguinte da lista, onde o cliente se encontre;
- "Zoom –" – Diminui o zoom do mapa;
- "Zoom 0" – Coloca o mapa a abranger toda a janela;

- “Zoom +” – Aumenta o zoom do mapa.

Todo o *interface* foi criado a pensar na possibilidade de utilizar um ecrã táctil para manusear a aplicação, tendo em conta a escolha da plataforma de *hardware*. As funcionalidades acima descritas assim como todas as restantes são explicadas em pormenor na secção 3.5.3.

3.5.3 - Funcionalidades

As funcionalidades do cliente podem ser divididas em partes, sendo uma delas a parte visual da aplicação e as restantes divididas de acordo com as secções do menu, como pode ser visto na Figura 23, para ser mais fácil a sua compreensão:

- Parte Visual – Funcionalidades relativas à apresentação do programa;
- Receptor GPS – Funcionalidades relativas ao funcionamento do(s) receptor(es) GPS;
- Rede – Funcionalidades associadas à rede;
- Esquemas – Funcionalidades relativas aos diagramas que podem ser desenhados nos mapas;
- Pontos Georreferenc – Funcionalidades associadas à georreferenciação dos mapas;
- Sair – Permite sair da aplicação.

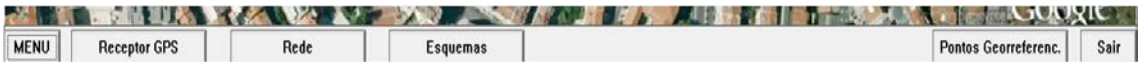


Figura 23 – Menu do cliente.

3.5.3.1 - Parte Visual

Relativamente à parte visual da aplicação Cliente, esta tem que desenhar a janela que se pode ver na Figura 22, começando por desenhar o mapa na mesma. Para isso, a aplicação percorre a lista de mapas que tem em memória e, para cada um, vê se a posição do utilizador se encontra contida no mapa. Isto significa que, depois de ter uma posição válida para o utilizador, os únicos mapas abertos pela aplicação são aqueles onde o utilizador se insere. Caso não exista uma posição válida para o utilizador, os mapas são abertos pela ordem em que se encontram na lista da aplicação.

A aplicação suporta as funcionalidades de *zoom* e *pan*, ou seja, é possível aproximar (*zoom in*) ou afastar (*zoom out*) a imagem, assim como arrastar a mesma depois de se aproximar a imagem através do uso de *zoom*.

É possível fazer *zoom in* de duas maneiras: através do botão apropriado no *interface* ou clicando duas vezes no mesmo ponto do mapa. A diferença reside no ponto que serve de centro quando se faz o *zoom*. No primeiro caso, este é o centro da janela, enquanto no segundo, é o ponto onde ocorreu o duplo clique. Cada ocorrência de *zoom in* duplica o número de pixéis do ecrã associados a cada pixel da imagem, ou seja, a imagem mostrada na janela é metade da original. Se o centro do *zoom in* for demasiado próximo de um dos limites da

imagem, este é ajustado para que os limites da imagem coincidam com os da janela. Deste modo, evita-se que se mostre o fundo da janela, que não tem qualquer informação ou finalidade. Não existe limite de *zoom in* embora depois de se fazer três ou quatro vezes, a imagem fique quase imperceptível.

O processo de *zoom out* é similar ao de *zoom in*, com a diferença que só é possível fazê-lo através do botão apropriado. Mais uma vez, de modo a evitar mostrar o fundo da janela, o centro do *zoom out* (que é sempre o centro da janela), pode ser alterado pela aplicação. Para além disso e pelo mesmo motivo, o máximo *zoom out* possível é quando a janela mostrar a imagem completa. O processo de *zoom out* associa os pixéis da imagem mostrados na janela a um quarto dos pixéis da janela (metade em x e metade em y) e centra a imagem, ou seja, com cada ocorrência de *zoom out*, a área da imagem mostrada na janela, quadruplica.

Arrastar a imagem ou fazer *pan*, só é possível depois de se fazer, pelo menos uma vez, *zoom in*. Isto ocorre, como discutido anteriormente, para não se mostrar o fundo da janela. Para se arrastar a imagem basta clicar no ecrã e arrastar o cursor. De acordo com o movimento do mesmo, o programa calcula a direcção do movimento e move a imagem no mesmo sentido, criando a ilusão de arrastamento. Se o arrastamento levar a porção da imagem mostrada na janela até ao seu limite, a aplicação não permite que se arraste mais, novamente, para não mostrar o fundo da janela. O cursor é captado em intervalos de tempo regulares e não sempre que a sua posição se altera, visto que, com um intervalo de tempo suficientemente pequeno, o resultado é idêntico, devido à velocidade de movimentação humana.

Todas estas funcionalidades são controladas por variáveis internas da aplicação para que esta saiba o que o utilizador deseja fazer. Sem comandos nenhuns, a aplicação abre apenas um mapa que ocupa integralmente a janela, mesmo que para isso tenha de o redimensionar.

Em cima do mapa, a aplicação coloca uma marca que representa a posição do utilizador, se existirem coordenadas válidas recebidas do receptor GPS, que é calculada com base nas coordenadas de georreferenciação da imagem. As coordenadas são recebidas do receptor GPS (uma vez por segundo) e armazenadas. A cada 5 segundos a aplicação faz uma média dessas coordenadas e esse é o valor considerado para a posição do utilizador, cuja representação no mapa tem de ser calculada.

Georreferenciação é o processo de associação de uma imagem a um conjunto de coordenadas geográficas. Este processo está associado a alguns erros que são explicados na secção 4.2, onde se testa a qualidade da georreferenciação utilizada. Para além dos erros, o processo de georreferenciação utilizado parte do pressuposto que todos os pixéis numa coluna têm a mesma longitude e todos os pixéis de uma linha têm a mesma latitude.

Sem coordenadas adicionais, só se utilizam as coordenadas geográficas do canto superior esquerdo (CSE) e inferior direito (CID). A partir das coordenadas, consegue saber-se facilmente qual a posição do utilizador, sendo depois necessário transpor essa posição para

coordenadas do mapa e depois para coordenadas da janela, uma vez que o mapa pode não estar todo presente na janela. Na Figura 24, ilustra-se a primeira parte desta operação, o cálculo da posição do utilizador, em coordenadas do mapa.

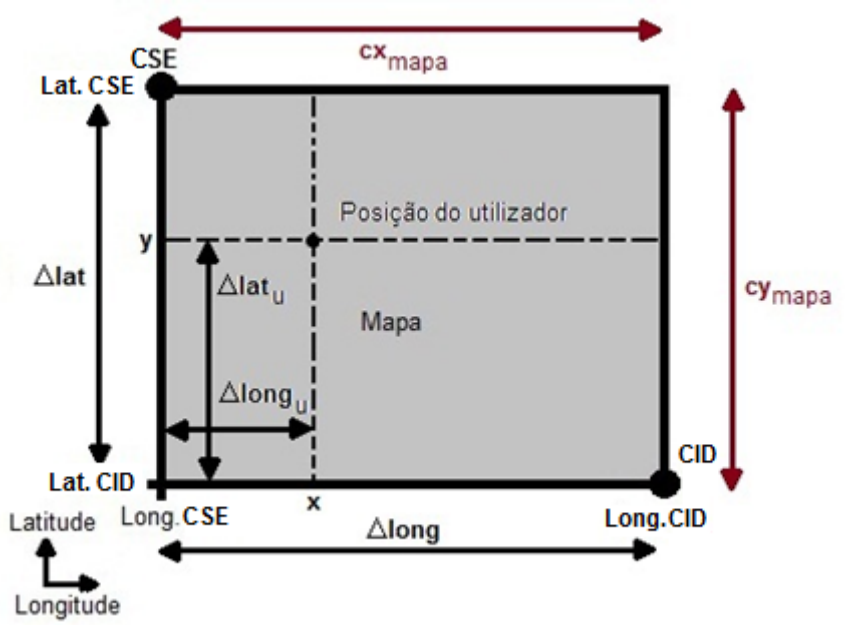


Figura 24 – Cálculo da posição do utilizador em coordenadas do mapa.

Sabendo qual a posição do utilizador, em latitude e longitude, calcula-se a variação, em graus, entre o canto de latitude menor e a sua latitude para obter Δlat_u. De seguida faz-se o mesmo para a longitude, calculando a variação, em graus, entre o canto de longitude menor e a longitude do utilizador para obter $\Delta long_u$. Sabendo que a variação, em graus, de latitude entre os dois cantos, Δlat, corresponde à altura do mapa, cy_{mapa}, e que a variação, em graus, de longitude entre os cantos, Δlong, corresponde ao comprimento do mapa, cx_{mapa}, calcula-se a posição do utilizador no mapa, onde x é a coordenada horizontal e calcula-se através da expressão (1) e y a coordenada vertical, calculada através da expressão (2). A imagem tem como origem o canto inferior esquerdo.

$$x = \frac{cx_{mapa}\Delta long_u}{\Delta long} \quad (1)$$

$$y = \frac{cy_{mapa}\Delta lat_u}{\Delta lat} \quad (2)$$

Para marcar a posição do utilizador na janela é necessário ter em conta o *zoom* aplicado à imagem para se saber qual o comprimento da imagem que está desenhado na janela. A Figura 25, ilustra este problema.

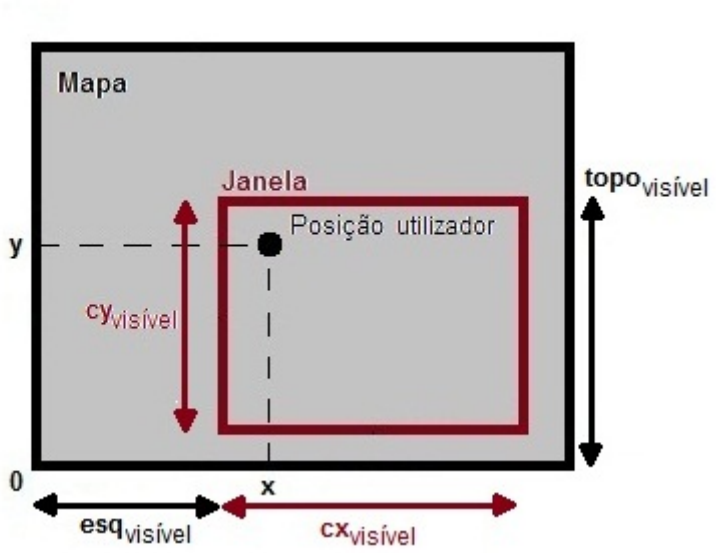


Figura 25 – Cálculo da posição do utilizador em coordenadas da janela.

Sabendo o comprimento horizontal e vertical da imagem visível na janela, $cx_{visível}$ e $cy_{visível}$, respectivamente, as coordenadas da imagem correspondentes às fronteiras esquerda e superior da janela, $esq_{visível}$ e $topo_{visível}$, respectivamente, a posição do utilizador na imagem, x e y, e ainda as dimensões horizontal e vertical da janela, cx_{janela} e cy_{janela}, respectivamente, calcula-se a posição do utilizador no ecrã. Ao contrário das coordenadas de imagem, a origem da janela encontra-se no canto superior esquerdo. Para calcular a posição horizontal do utilizador na janela, x_u, utiliza-se a expressão (3) e para calcular a posição vertical do utilizador na janela, y_u, utiliza-se a expressão (4).

$$x_u = \frac{(x - esq_{visível}) * cx_{janela}}{cx_{visível}} \tag{3}$$

$$y_u = \frac{(topo_{janela} - y) * cy_{janela}}{cy_{visível}} \tag{4}$$

Uma vez calculada a posição do utilizador no ecrã, desenha-se um marcador para o utilizador que depende do seu estado de ligação ao servidor (*online* ou *offline*) e da opção sobre mostrar a direcção de movimentação. Na Figura 26, mostram-se os marcadores utilizados para marcar a posição do utilizador da aplicação.

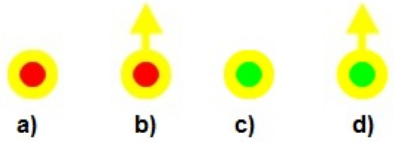


Figura 26 – Marcadores utilizados:
a) offline simples b) offline com orientação
c) online simples d) online com orientação

O marcador a), da Figura 26, corresponde a não utilizar dois receptores, enquanto o marcador b) corresponde à opção de mostrar a orientação do utilizador e só é utilizado se as coordenadas recebidas dos dois receptores forem válidas. A direcção do utilizador é calculada

como o ângulo desta em relação ao Norte, sendo depois o marcador rodado conforme necessário. As coordenadas, no formato Latitude, Longitude e Altitude, são chamadas de coordenadas LLA. Para efectuar os cálculos da direcção é necessário converter as coordenadas LLA para coordenadas XYZ. Isso é possível através das expressões (5) para o cálculo do *x*, (6) para o cálculo do *y* e (7) para o cálculo do *z,* onde f corresponde ao *ellipsoidal flattening*, [26].

$$x = N.\cos(latitude).\cos(longitude) \tag{5}$$

$$y = N.\cos(latitude).\sin(longitude) \tag{6}$$

$$z = ((1 - f^2).N).\sin(latitude) \tag{7}$$

N calcula-se através da expressão (8), onde *a* corresponde ao *ellipsoid semi-major axis*.

$$N = \frac{a}{\sqrt{1-f(2-f)\sin^2(latitude)}} \tag{8}$$

Depois de se calcularem as coordenadas XYZ, acha-se a diferença entre os valores correspondentes ao receptor da frente e os correspondentes ao receptor de trás do veículo. De seguida, é necessário converter as coordenadas XYZ, ou ECEF (*Earth-Centered*, *Earth-Fixed*), em coordenadas ENU (*East*, *North*, *Up*). Para o cálculo do azimute apenas é necessário calcular o Este, *e*, e o Norte, *n*, que se consegue através da expressão (9).

$$[e \quad n \quad u] = [x \quad y \quad z] \cdot \begin{bmatrix} \cos\left(longitude + \frac{\pi}{2}\right) & -\sin\left(longitude + \frac{\pi}{2}\right) & 0 \\ \sin\left(longitude + \frac{\pi}{2}\right) & \cos\left(longitude + \frac{\pi}{2}\right) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\left(\frac{\pi}{2} - latitude\right) & -\sin\left(\frac{\pi}{2} - latitude\right) \\ 0 & \sin\left(\frac{\pi}{2} - latitude\right) & \cos\left(\frac{\pi}{2} - latitude\right) \end{bmatrix} \tag{9}$$

A partir do valor *e* e *n*, calculados em (9), o azimute calcula-se através da expressão (10).

$$az = \arctan\left(\frac{e}{n}\right) \tag{10}$$

Este ângulo é calculado em radianos pela aplicação, sendo depois necessário convertê-lo para graus. Na Figura 27 apresenta-se um utilizador e a sua orientação num mapa.

Figura 27 - Apresentação de um utilizador através da sua orientação.

Se o cliente estiver ligado ao servidor também é necessário marcar as posições ou direcções dos restantes utilizadores da rede. O cálculo das suas posições na janela é idêntico ao cálculo do utilizador da aplicação, diferindo apenas na cor dos marcadores. Para além disso, quando o utilizador da aplicação se liga ao servidor, o seu marcador altera-se para o marcador c) ou d) da Figura 26, dependendo se utiliza um receptor ou dois, respectivamente. Na Figura 28, podem ver-se os marcadores utilizados para as posições dos restantes utilizadores.

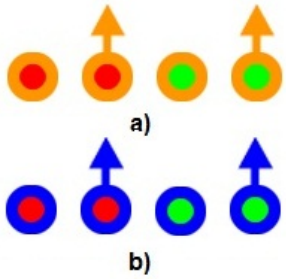


Figura 28 – Marcadores utilizados para tipos de utilizadores diferentes:
a) tipo 1 b) tipo 2

Existem duas possibilidades de utilizadores da rede: tipo 1, que utiliza o conjunto a) de marcadores da Figura 28 e tipo 2, que utiliza o conjunto b) da mesma Figura. Deste modo, introduz-se alguma diversidade nos utilizadores da rede, podendo ser utilizada, por exemplo, para separar tipos de veículos: os de combate a incêndios dos de ajuda ou apoio, ou para utilizar o sistema com utilizadores diferentes, por exemplo, veículos e bombeiros a pé. Caso o Servidor envie dois pares de coordenadas de algum utilizador da rede para o utilizador da aplicação, esta calcula a sua direcção e mostra-a na janela, da mesma forma que o faz quando o utilizador da aplicação deseja mostrar a sua direcção.

3.5.3.2 - Receptor GPS

Esta secção oferece ao utilizador a possibilidade de configurar todos os parâmetros necessários ao funcionamento do(s) receptor(es) GPS. Quando o botão *Receptor GPS* é

pressionado aparecem ao utilizador duas de três opções, dependendo do estado da ligação do computador ao receptor GPS principal. Estas opções podem ser visualizadas na Figura 29.

Figura 29 – Opções relacionadas com os receptores GPS:
a) Ligado ao receptor GPS b) Sem ligação ao receptor GPS

Na Figura 29 a) existe a opção *Reset* onde, na Figura 29 b), está presente a opção *Ligar*. Caso o receptor principal (o primeiro das opções) não se encontre ligado ao terminal estamos perante a situação b). Nesta situação, quando a opção *Ligar* é seleccionada, o programa tenta estabelecer uma ligação com o(s) receptor(es) tal como durante a fase de inicialização. Caso o receptor se encontre ligado, estamos perante a opção a) e pressionar a opção *Reset* vai desligar a comunicação com o(s) receptor(es) para depois a tentar restabelecer. Esta opção pode ser utilizada para alterar os receptores ou as portas COM (interfaces de comunicação em série) utilizadas juntamente com a opção *Configurar*. A opção *Configurar*, tal como o nome indica, permite configurar os parâmetros de ligação com os receptores GPS. Ao ser seleccionada esta opção, aparece a janela que se pode observar na Figura 30.

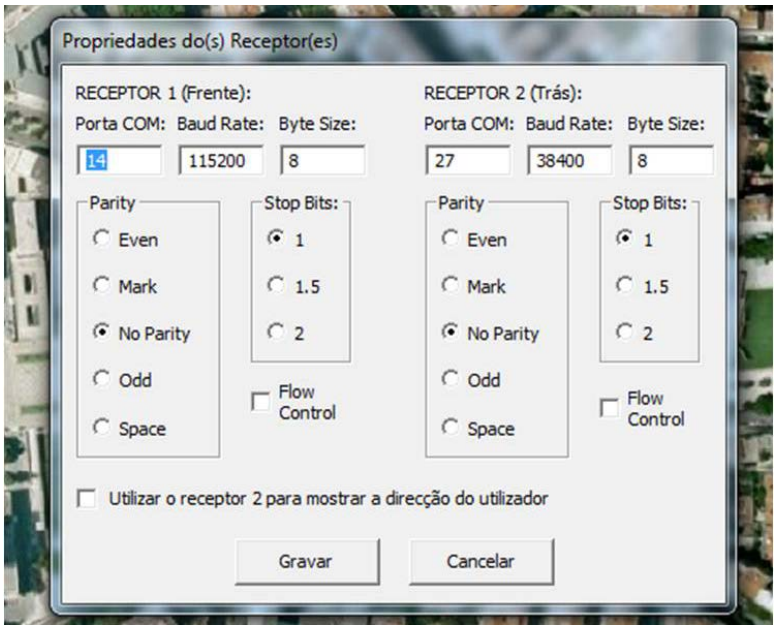


Figura 30 – Janela de configuração dos receptores GPS.

Os parâmetros considerados na ligação do terminal com os receptores GPS, e que podem ser configurados na janela presente na Figura 30, são os seguintes:

- Porta COM – Número de identificação da porta COM utilizada para comunicar com o receptor;
- *Baud Rate* – Velocidade de transmissão de dados;
- *Byte Size* – Número de *bits* por caracter transmitido;
- *Parity* – Esquema de paridade utilizado para detecção de erros;
- *Stop Bits* – Número de *bits* enviados para marcar o final de cada caracter transmitido;
- *Flow Control* – Existência de controlo do envio e recepção da informação.

Para além dos parâmetros acima descritos para os dois receptores, também se pode seleccionar se a direcção de movimentação do utilizador vai ser mostrada e transmitida para a rede. Caso esta última opção seja seleccionada, é necessário configurar os parâmetros para ambos os receptores. Quando se pressiona o botão *Gravar*, o programa altera as definições dos receptores em memória e grava essas definições no ficheiro *Config_GPS.txt*.

3.5.3.3 - Rede

A opção de Rede apenas abre uma outra opção, como se pode observar na Figura 31.

Figura 31 – Submenu *Rede*.

Esta opção serve para ligar o cliente ao servidor através de uma ligação utilizando *Windows Sockets 2*. Pelo ficheiro *Config.txt*, a aplicação sabe o endereço do servidor assim como o porto em que ele se encontra à escuta de ligações. Após inicializar todos os parâmetros necessários, a aplicação tenta fazer um pedido de ligação ao servidor. Depois de aceite, o cliente pode começar a trocar informação com o servidor e, através deste, com a rede. O protocolo das comunicações entre o servidor e os clientes, assim como as suas sequências de mensagens podem ser consultados no Anexo B.

3.5.3.4 - Diagramas

Os diagramas, na aplicação com o nome de esquemas, são desenhos que os clientes podem fazer na janela do programa, em cima do mapa que lá se encontra de modo a marcar caminhos, avisos, áreas. A nível de utilização pelos bombeiros, a implementação de diagramas permite informar outros utilizadores acerca das condições dos fogos, e.g. a área onde o fogo está activo, acessos, direcção da frente de fogo.
A secção "*Esquemas"* do menu tem duas opções: "*Listar"* e "*Novo"*, como se mostra na Figura 32.

Figura 32 – Opções relacionadas com os esquemas.

A opção *Listar* cria uma lista de todos os diagramas em memória. Os diagramas são listados com o seu *ID*, data de criação e Nota. O *ID* é o identificador atribuído pelo servidor quando o cliente que criou o diagrama o envia para o servidor. Na Figura 33, pode ver-se a janela que surge quando esta opção é seleccionada.

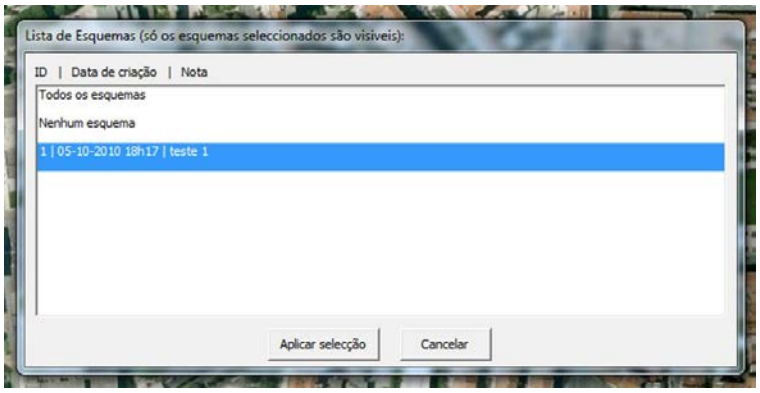

Lista de Esquemas (só os esquemas seleccionados são visíveis):
ID | Data de criação | Nota
Todos os esquemas
Nenhum esquema
1 | 05-10-2010 18h17 | teste 1
Aplicar selecção
Cancelar

Figura 33 – Janela com a lista de esquemas.

Para além de listar todos os diagramas, é possível escolher quais os que são desenhados na janela, de modo a estar visível apenas informação considerada necessária.

A opção *Novo*, quando seleccionada, esconde todos os botões de *interface* e faz aparecer o botão *Fim*, como pode ser visualizado na Figura 34.

Figura 34 – *Interface* de criação de um esquema.

O diagrama não é mais que um conjunto segmentos, onde cada segmento corresponde a um conjunto de pontos, ligados entre si. Cada ponto é armazenado, primeiro em memória e depois em ficheiro, como um par de coordenadas geográficas (latitude e longitude) e um outro valor inteiro, que pode ser 0, se o ponto corresponder ao início de um segmento ou 1, caso contrário.
O cálculo das coordenadas geográficas a partir das coordenadas da janela ocorre de modo inverso à marcação de posições no ecrã, ou seja, convertem-se as coordenadas da janela em coordenadas do mapa e depois essas coordenadas em coordenadas geográficas. O valor inteiro associado depende se o botão esquerdo do rato estava a ser pressionado ou não, antes da marcação do ponto. Se se tratar de um novo segmento, o botão esquerdo do rato é pressionado na mesma altura em que o ponto é marcado.
As coordenadas da janela necessitam ser calculadas, uma vez que a aplicação recolhe do sistema a posição do cursor relativa ao ecrã e como a janela pode não se encontrar maximizada, isto provocaria um erro. A Figura 35 ilustra este problema e indica as variáveis utilizadas no cálculo da posição do cursor.

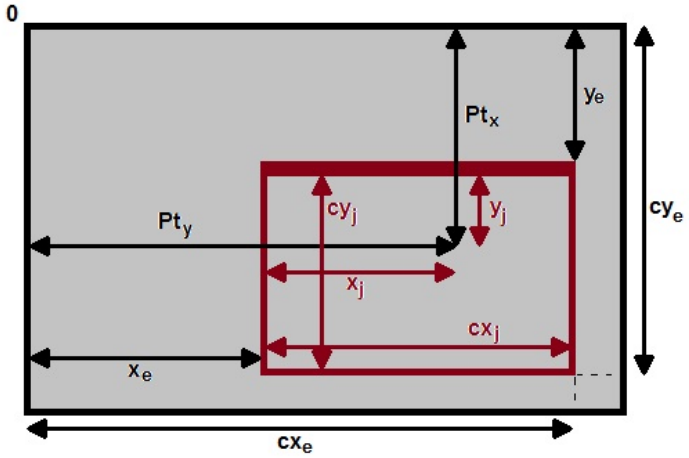


Figura 35 – Cálculo da posição do cursor.

Para calcular a posição do cursor na janela conhecendo as coordenadas horizontal, Ptx, e vertical, Pty, do ecrã, para o ponto marcado, é necessário conhecer a distância da janela à origem do ecrã, através da distância do seu limite esquerdo, direito, superior e inferior, x_e, cx_e, y_e e cy_e, respectivamente, à origem do ecrã. Também se tem conhecimento acerca das dimensões horizontal e vertical da janela, dadas por cx_j e cy_j, respectivamente. Utilizando essas variáveis, calcula-se a folga da janela, ou seja, a espessura lateral e inferior da sua caixa limitadora, *e1*, através da expressão (12).

$$e1 = \frac{(cx_e - x_e) - cx_j}{2} \tag{12}$$

O valor calculado em (12) corresponde à espessura esquerda, direita e inferior da janela. A espessura superior é maior, uma vez que contém o título da janela e quando é necessário utilizar o seu valor, faz-se à custa de *e1*.

Através de algumas subtracções pode calcular-se a coordenada horizontal do cursor na janela, x_j, e a coordenada vertical, y_j, através da expressão (13) e (14), respectivamente.

$$x_j = Pt_x - x_e - e \tag{13}$$

$$y_j = Pt_y - y_e - [(cy_e - y_e) - cy_j - e] \tag{14}$$

Uma vez marcados todos os pontos do esquema, o utilizador pressiona o botão *Fim*, o que faz aparecer uma janela onde se introduz uma nota e se podem seleccionar os destinatários do mesmo. Esta janela é mostrada na Figura 36.

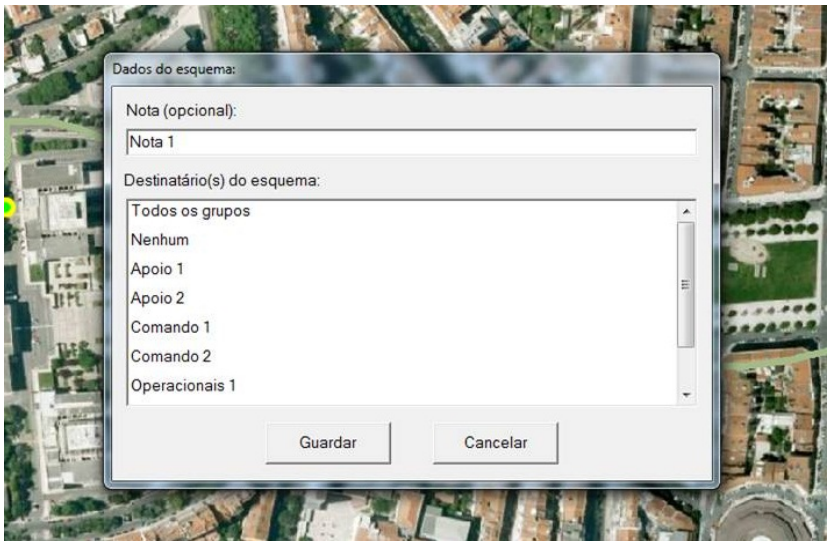


Figura 36 – Janela utilizada para finalizar um esquema.

A nota serve para uma identificação mais fácil do esquema em questão e é, por este motivo, opcional. A lista de destinatários do esquema corresponde ao nome de todos os grupos de utilizadores presentes no servidor. Uma vez que um cliente só recebe a lista de grupos de utilizadores depois de se ligar ao servidor, a lista de grupos só aparece nessa altura. Caso o cliente não esteja ligado ao servidor, quando a ligação for estabelecida, a janela de finalização de esquema volta a aparecer e o utilizador tem que escolher os destinatários de cada esquema criado enquanto esteve desligado do servidor.

Estes destinatários determinam quais os utilizadores para quem o servidor vai tentar enviar o esquema, depois de avaliar se o cliente tem permissão para tal. Após o envio do esquema para o servidor, o cliente recebe uma notificação que o informa se o envio foi completado com sucesso ou se existem destinatários que não vão receber o esquema. Os grupos e destinatários de esquemas estão explicados com maior detalhe na secção 3.6.3 e 3.6.4.

3.5.3.5 - Pontos de Georreferenciação

Tal como explicado anteriormente, para calcular as posições dos utilizadores da rede assim como dos pontos dos esquemas, utilizam-se pontos geográficos pertencentes ao mapa desenhado na janela. Para ser utilizado, cada mapa necessita de dois pontos de

georreferenciação, o do canto superior esquerdo e o do canto inferior direito, embora exista a possibilidade de se acrescentarem outros, de modo a tornar os cálculos mais precisos.

A secção "*Pontos Georreferenc"* abre um conjunto de opções relacionadas com os pontos de georreferenciação utilizados nos mapas usados pela aplicação. Este submenu pode ser visualizado na Figura 37.

Figura 37 – Opções relacionadas com pontos de georreferenciação.

A opção "*Novo (Manual)"* possibilita ao utilizador acrescentar um novo ponto de georreferenciação para o mapa apresentado na janela. Isto é conseguido através da atribuição de um par de coordenadas geográficas a um determinado ponto no mapa. Após a selecção da opção, o utilizador selecciona no mapa desenhado na janela, qual o ponto que vai ser associado às coordenadas. Depois de escolhido o ponto, é pedido ao utilizador que introduza as coordenadas e a nota para o mesmo. A janela que aparece para a introdução desses dados é mostrada na Figura 38.

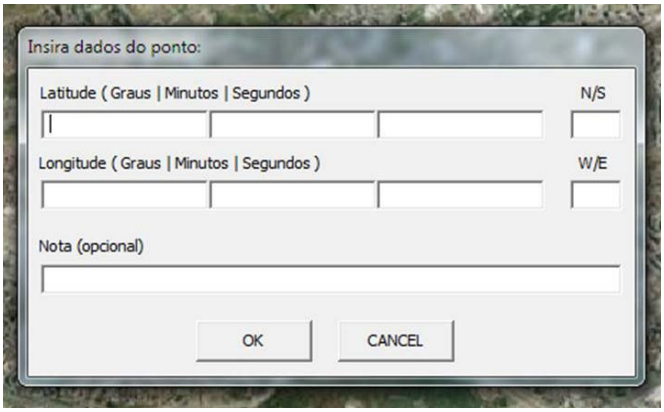


Figura 38 – Janela para introdução de dados sobre novo ponto de georreferenciação.

Para maior facilidade de utilização, é possível introduzir as coordenadas em graus, minutos e segundos, se existirem. A aplicação faz a conversão internamente para graus e utiliza a orientação para definir se a coordenada é positiva ou negativa. A nota é opcional mas deverá ser preenchida a fim de identificar o local onde o ponto foi marcado. O ponto marcado na janela é transformado em coordenadas da imagem, que são depois guardadas na lista de coordenadas do mapa em utilização, juntamente com as coordenadas inseridas na janela. Se

as coordenadas inseridas não se encontrarem dentro dos limites do mapa, a operação é cancelada e os dados inseridos assim como o ponto marcado são eliminados.

A opção "*Novo (Receptor)"* permite ao utilizador, tal como a opção "*Novo (Manual)"*, adicionar coordenadas de georreferenciação ao mapa desenhado na janela. A diferença reside no meio utilizado para atingir esse fim. Nesta opção, não é pedido ao utilizador para inserir as coordenadas geográficas do ponto escolhido no mapa, pois estas são retiradas da posição do utilizador, ou seja, do valor médio actual da sua posição. Ao utilizador apenas é pedido que adicione uma nota ao ponto, para facilitar a sua identificação, como se pode visualizar na Figura 39.

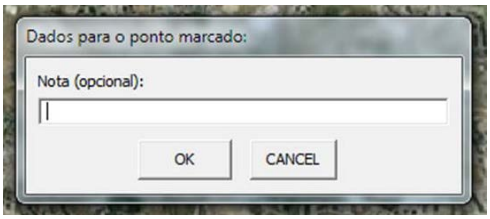


Figura 39 – Janela para introdução da nota para o novo ponto de georreferenciação.

Após a introdução da nota, que, tal como na opção anterior, é opcional, o ponto e as suas coordenadas são guardados do mesmo modo que na opção "*Novo (Manual)"*. Estes novos pontos apenas são guardados no ficheiro *InfoMapas.txt* quando a aplicação é terminada.

A opção "*Mostrar Pontos"*, tal como o nome indica, serve para mostrar na janela a localização de todos os pontos de georreferenciação existentes para o mapa actualmente desenhado na janela. Cada conjunto de dois pontos dá origem a um quadrado onde se poderá calcular a posição do utilizador. O quadrado escolhido como óptimo é o quadrado onde a posição do utilizador se encontra e cujo centro está mais próximo da mesma. A partir das coordenadas dos cantos superior esquerdo e inferior direito do quadrado escolhido, a posição do utilizador é calculada com maior precisão. Na Figura 40 mostra-se um exemplo de um mapa com quatro pontos de georreferenciação.

Figura 40 – Janela com a opção de mostrar pontos de georreferenciação seleccionada.

Como se pode observar na Figura 40, os pontos de georreferenciação dos cantos superior esquerdo e inferior direito, embora parcialmente escondidos, estão presentes. Para além deles, também se podem ver outros dois pontos. Os pontos utilizados para fazer esta marcação podem ser visualizados na Figura 41.

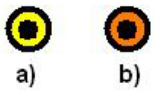


Figura 41 – Marcadores utilizados para pontos de georreferenciação:
a) Ponto existente no mapa; b) Ponto utilizado nos cálculos.

Todos os pontos são desenhados com o marcador da Figura 34 a). Se existir uma posição válida para o utilizador, dois desses pontos são desenhados com o marcador da Figura 34 b) e delimitam o quadrado escolhido para calcular a posição do utilizador. Na Figura 42 pode ver-se o mesmo mapa da Figura 40, mas agora com os quadrados marcados no mesmo.

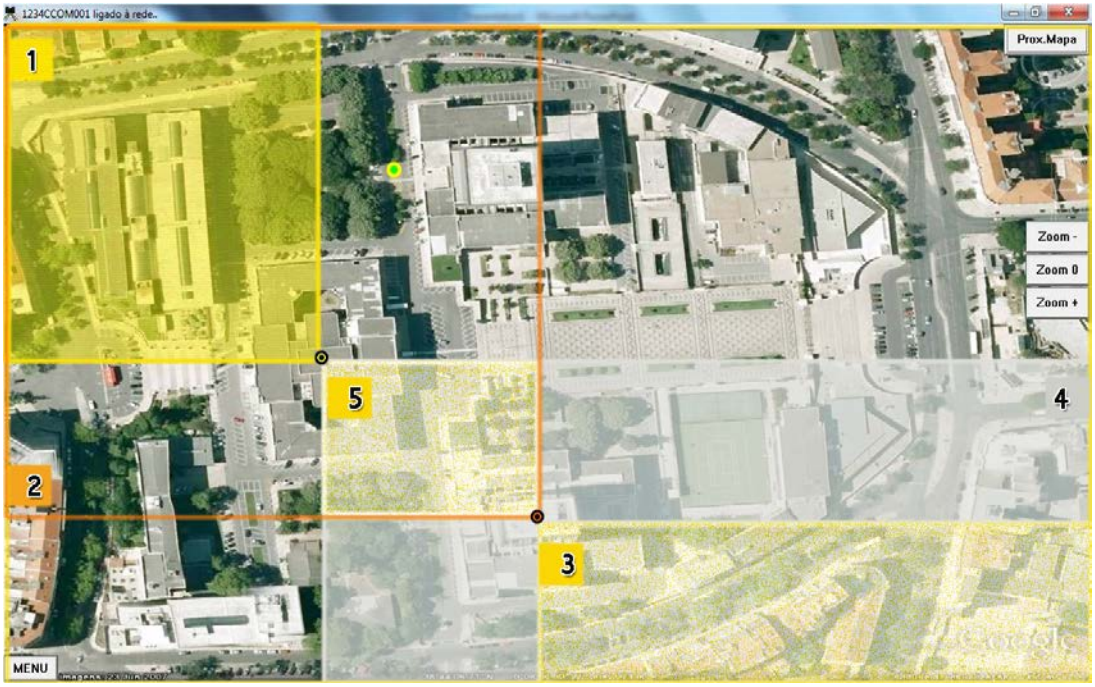


Figura 42 – Mapa com os quadrados formados pelos pontos de georreferenciação.

Pela observação da Figura, pode ver-se que existem cinco quadrados possíveis, para além do quadrado que ocupa toda a imagem, e que o quadrado (2) estava a ser utilizado para marcar a posição do utilizador. Para escolher um quadrado para marcar a posição do utilizador no mapa seleccionam-se os quadrados onde ele se insere, calcula-se a distância entre a posição e o centro de cada quadrado, escolhendo-se aquele com o centro mais próximo da posição do utilizador.

A relação entre o número de pontos de georreferenciação, *n*, e o número de quadrados, $N_{\square}$, é dada pela expressão (15) sempre que todos os pontos tem valores de latitude e longitude distintos uns dos outros.

$$N_{\square} = \frac{n\,(n-1)}{2} \tag{15}$$

A última opção deste submenu, a opção "*Envia para a rede"*, permite que um utilizador envie para a rede todos os pontos de georreferenciação extra que tem armazenados para o mapa desenhado na janela, se tiver permissão para tal. Esta permissão apenas pode ser dada pelo servidor, pelo que o utilizador só sabe se pode enviar os pontos para a rede depois de tentar. Caso não o possa fazer, recebe uma indicação do servidor. Quando a opção é seleccionada, aparece uma janela onde se encontra uma lista de todos os mapas, na lista de mapas do utilizador, que tenham mais de dois pontos de georreferenciação uma vez que os dois pontos iniciais, os dos cantos, são obrigatórios. Esta janela é mostrada na Figura 43.

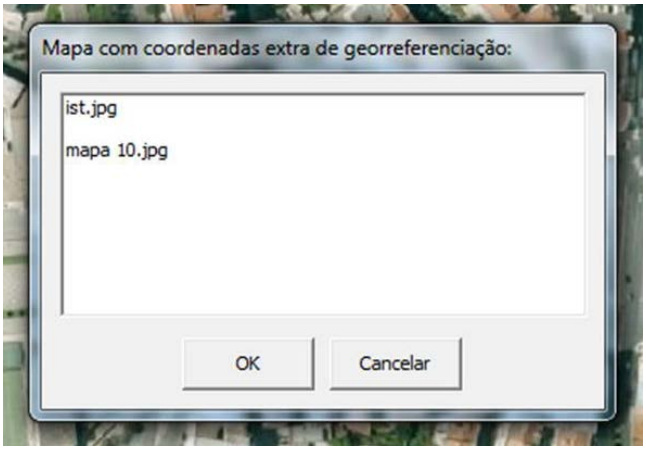


Figura 43 – Janela com os mapas que possuem coordenadas extra de georreferenciação.

Depois de seleccionado o mapa, o cliente envia para o servidor uma indicação que vai enviar coordenadas extra. Nesse instante o servidor, ou aceita e o cliente envia as coordenadas, ou nega o acesso e o cliente recebe o aviso de que não pode realizar a operação.

3.6 - Aplicação destinada às estações estáticas

3.6.1 - Introdução

Nesta secção descrevem-se todas as funcionalidades da aplicação Servidor, que se pretende que seja utilizada como estação fixa do sistema. Esta aplicação não necessita de acesso a receptores GPS pois não apresenta a sua posição aos utilizadores. Necessita, no entanto, de acesso a uma base de dados SQL, onde está toda a informação referente às permissões dos utilizadores do sistema e ao programa *Google Earth,* para apresentar as posições dos utilizadores e os diagramas na rede. Tal como a aplicação Cliente, o Servidor também necessita de acesso à *Internet* para comunicar com os utilizadores e um IP público para os utilizadores terem um endereço conhecido onde se ligar. De seguida, vai ser descrito todo o processo de inicialização da aplicação desenvolvida, sendo depois listadas e caracterizadas todas as funcionalidades da mesma.

3.6.2 - Inicialização

A aplicação Servidor inicia-se de modo muito parecido ao Cliente. A grande alteração reside na leitura do ficheiro *Config_GPS.txt* que o servidor não necessita visto não dar a conhecer à rede

a sua posição. Em vez disso, o servidor abre juntamente com o ficheiro *Config.txt*, o ficheiro *Config_SQL.txt,* retirando deles o porto onde deve escutar por ligações, o endereço *url* e o caminho na forma C:\etc para a pasta onde ficam armazenados os ficheiros *KML* e ainda todos os dados necessários para se ligar à BD. Depois de retirar a informação útil dos ficheiros de configuração, o servidor lê do ficheiro InfoMapas.txt a informação sobre os mapas utilizados na rede e dos ficheiros *Esquemas.txt* e *DestEsq.txt* os dados dos esquemas, criando uma lista. Seguidamente e utilizando os dados retirados dos ficheiros de configuração, o servidor liga-se à BD para retirar os *IDs* dos utilizadores da rede, criando uma lista com essa informação e os nomes dos grupos de utilizadores para criar uma outra lista, lista esta que será enviada para os clientes que se tentarem ligar. Os nomes dos grupos são retirados da BD periodicamente, para o caso de serem alterados pelo administrador da BD. Após recolher toda a informação necessária ao seu funcionamento, o servidor inicia a escuta por ligações no porto fornecido no ficheiro de configuração. Na sua janela, o servidor apenas mostra informação acerca do número de utilizadores na base de dados, número de utilizadores ligados a si e número de esquemas armazenados. Na Figura 44, pode ver-se a janela do servidor.

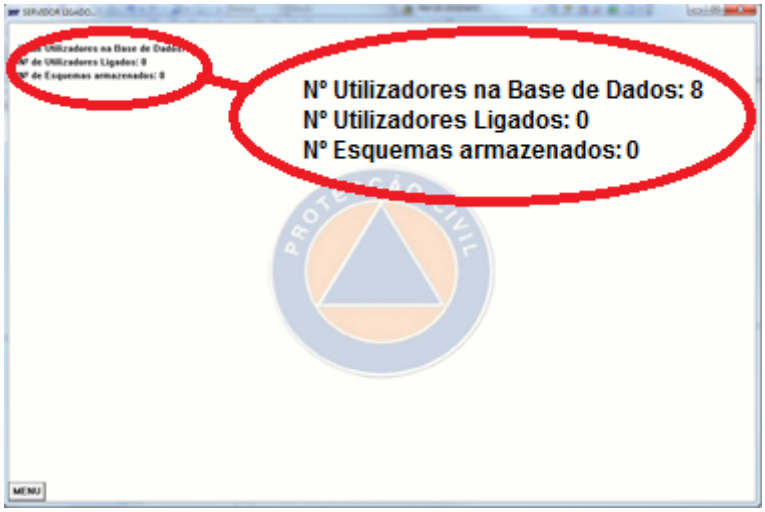


Figura 44 – Janela da aplicação Servidor.

3.6.3 - Funcionalidades

O servidor funciona de modo autónomo, ou seja, sem que seja necessário um utilizador presente para enviar a informação de uns clientes para outros. Pode dizer-se, então, que a funcionalidade mais importante do servidor, ainda que passiva, é servir de ligação entre os clientes e permitir que estes troquem dados entre si.

As outras funcionalidades, não passivas, ou seja, necessitam que esteja presente um utilizador que as inicie, são o envio de mapas para a rede, o envio de coordenadas extra de georreferenciação e a visualização dos utilizadores e esquemas no *Google Earth*, como se pode observar na Figura 45 que mostra o menu do servidor.

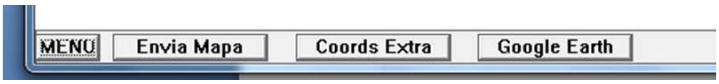


Figura 45 – Menu do servidor.

3.6.3.1 - Envio de mapas para a rede

A opção *Envia Mapa* do menu do servidor faz aparecer uma janela onde estão presentes todos os ficheiros *jpeg* e *bitmap* da pasta MAPAS, como se pode ver na Figura 46. Deste modo o servidor pode não só enviar mapas já utilizados na rede para utilizadores novos mas também introduzir novos mapas na rede.

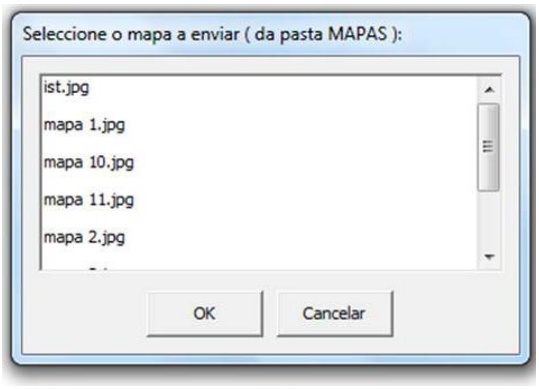


Figura 46 – Janela de escolha de mapa a enviar.

Se o mapa escolhido já estiver georreferenciado no ficheiro *InfoMapas.txt,* o envio começa imediatamente para todos os clientes que ainda não o possuam.

Se a escolha for um mapa que ainda não esteja georreferenciado, aparece outra janela, desta vez para introduzir todos os dados relevantes à georreferenciação do mapa para posteriormente serem gravados no ficheiro apropriado. Na Figura 47 pode ver-se esta segunda janela.

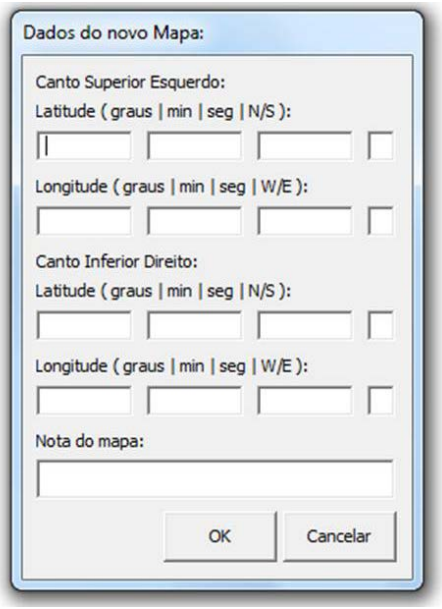

Dados do novo Mapa:
Canto Superior Esquerdo:
Latitude (graus | min | seg | N/S):
Longitude (graus | min | seg | W/E):
Canto Inferior Direito:
Latitude (graus | min | seg | N/S):
Longitude (graus | min | seg | W/E):
Nota do mapa:
OK
Cancelar

Figura 47 – Janela para georreferenciar novo mapa.

Como em todos os mapas, é necessário conhecer as coordenadas geográficas do canto superior esquerdo e inferior direito. Embora no ficheiro *InfoMapas.txt* essas coordenadas sejam guardadas apenas no formato graus e orientação, é dada a possibilidade de introduzir graus, minutos, segundos e orientação, para que o utilizador não necessite de fazer a conversão. Para além das coordenadas, é dada a possibilidade de introduzir uma nota para o mapa, de modo a ficar guardada informação adicional acerca do mesmo.
Após as coordenadas serem convertidas apenas em graus, a nova informação é guardada no ficheiro *InfoMapas.txt* e o envio do mapa inicia-se. O protocolo de comunicações entre o servidor e o cliente, encontra-se no Anexo B.

3.6.3.2 - Envio de coordenadas extra de georreferenciação

A opção *Coords Extra* do menu do servidor faz aparecer uma janela onde se encontram todos os mapas que tenham mais do que dois conjuntos de coordenadas de georreferenciação. A janela que aparece aquando da selecção desta opção pode ser visualizada na Figura 48.

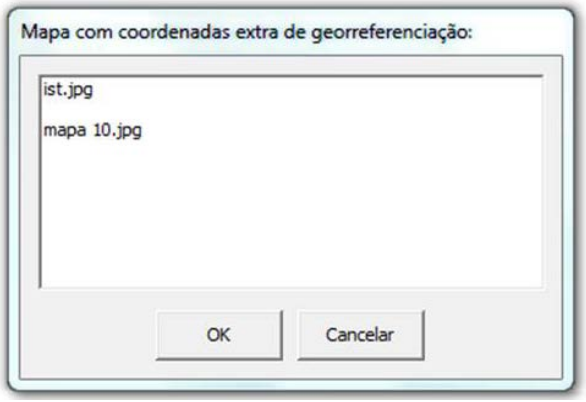


Figura 48 – Janela com mapas com coordenadas extra.

Depois de seleccionado o mapa, o servidor envia para todos os utilizadores os conjuntos de coordenadas extra.
Esta opção também existe nos clientes e, tendo em conta que estas coordenadas extra são marcadas por eles, fazia mais sentido se a opção existisse apenas nos clientes. A razão para estar presentes no servidor reside no facto de, quando o cliente que marcou os pontos extra e tem permissão para os enviar para a rede, o faz, é bastante provável que nem todos os utilizadores estejam ligados ao servidor o que os deixaria sem acesso a estes conjuntos de coordenadas. De modo a evitar que os clientes tenham que enviar as coordenadas várias vezes, o que congestionaria bastante a rede, o servidor pode utilizar esta opção quando grande parte dos clientes ou clientes específicos estiverem ligados a si.

3.6.3.3 - Visualização de dados no *Google Earth*

Uma vez que o servidor não envia esquemas nem coordenadas directamente para clientes, foi desenvolvida a possibilidade de utilizar um *browser* específico para visualização dos clientes e

esquemas da rede, neste caso, o *Google Earth.* Tal como explicado na secção 2.5.2 são necessários quatro ficheiros:

- Ficheiro com as posições iniciais;
- Ficheiro com o *Network Link* para o ficheiro inicial;
- Ficheiro com as alterações;
- Ficheiro com o *Network Link* para o ficheiro de alterações.

O ficheiro inicial e os ficheiros com os *Network Links* são criados na inicialização da aplicação e não são alterados uma vez que o primeiro tem apenas os esquemas guardados inicialmente no Servidor e os outros apenas contêm ligações para os outros ficheiros, estes últimos, com os dados. O ficheiro de alterações é criado periodicamente de acordo com os utilizadores que estão ligados ao servidor e as suas coordenadas e os esquemas guardados. O ficheiro é sempre escrito por cima do antigo para que apenas exista um em qualquer altura. No Anexo E apresentam-se os ficheiros utilizados.
Quando a opção *Google Earth* é seleccionada no menu do servidor, este utiliza o *Network Link* para o ficheiro inicial para iniciar o *browser Google Earth* e após decorridos três segundos inicia o segundo *Network Link*, que mostra no *browser* os dados armazenados.

Na Figura 49 apresenta-se a janela do browser utilizado, o *Google Earth*.

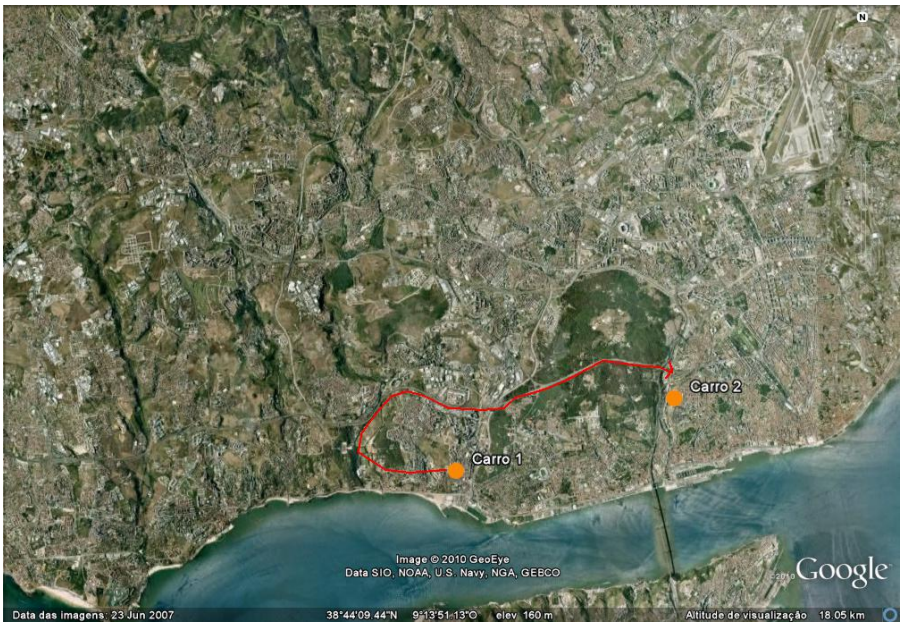

Carro 2
Carro 1
Image © 2010 GeoEye
Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO
Google
Data das imagens: 23 Jun 2007
38°44'09.44"N 9°13'51.13"O elev 160 m
Altitude de visualização 18.05 km

Figura 49 - Janela do *Google Earth* aberta pela aplicação.

3.6.4 - Servidor SQL

Como discutido anteriormente, o servidor funciona como um *hub* para distribuir dados pelos clientes autorizados. Para que isto fosse possível, foi necessário criar um sistema de permissões na forma de uma base de dados SQL que está presente no terminal do servidor.
Existem BD duas tabelas de dados: Utilizadores e Grupos.
A tabela Utilizadores tem a seguinte informação:

- IDs dos utilizadores – ID que deve ser o mesmo do ID de um utilizador que se tenta ligar;
- Tipo – Tipo de utilizador. Neste momento podem existir dois tipos de utilizador que correspondem a diferentes cores quando se mostra a sua posição no ecrã;
- Operação – Operação a que o utilizador pertence. Este valor serve para separar utilizadores a actuar em diferentes incidentes;
- Grupo – ID do grupo a que o utilizador pertence. O grupo vai ser responsável por todos os tipos de informação que o utilizador possa transmitir e receber da rede. O ID é retirado da tabela de Grupos;
- Autorizado – Verifica se o utilizador se pode ligar ao servidor ou não. Pode ser alterado em qualquer altura.

A tabela Grupos è composta por:

- ID do grupo – Valor inteiro, criado automaticamente e que serve de identificador de grupos para a tabela Utilizadores;
- Nome do Grupo – Nome atribuído pelo administrador da base de dados ao grupo;
- Hierarquia – Nível de importância do grupo na rede. Quanto mais baixo o valor, maior a sua hierarquia;
- Enviar cima – Autorização para enviar esquemas para grupos de nível de hierarquia superiores;
- Enviar mesmo – Autorização para enviar esquemas para grupos com o mesmo nível de hierarquia;
- Enviar baixo – Autorização para enviar esquemas para grupos de nível de hierarquia inferiores;
- Coords Georref – Autorização para enviar para os restantes grupos coordenadas extra de georreferenciação.

Na Figura 50 apresenta-se o diagrama da BD criada. Como se pode observar, as duas tabelas encontram-se ligadas pelo *ID* dos grupos, para que não seja possível, por exemplo, criar utilizadores inseridos em grupos que não existem. Para além disso, na tabela de Grupos não é possível criar grupos com o mesmo *ID*, uma vez que este é único para cada grupo e atribuído pelo sistema. Na tabela de Utilizadores não é possível criar utilizadores com o mesmo *ID do Utilizador* a não ser que sejam adicionados a grupos distintos, o que significa que o mesmo utilizador pode estar em grupos diferentes, se necessário.

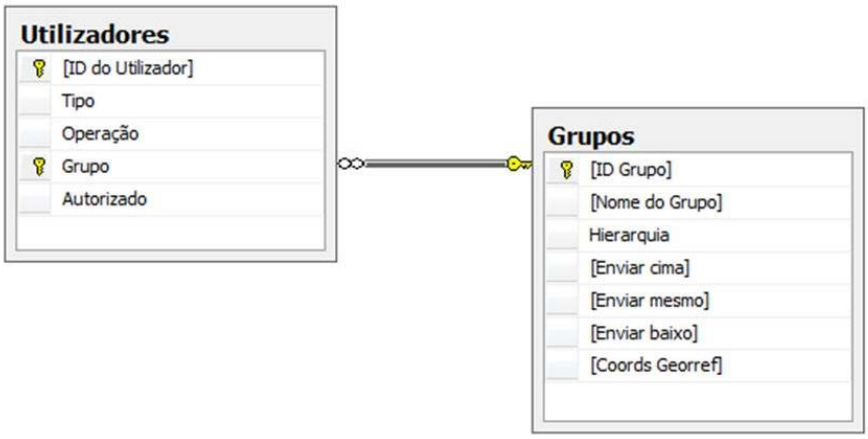


Figura 50 – Diagrama da BD SQL.

Os dados da BD podem ser alterados a qualquer momento pelo administrador, uma vez que o programa está constantemente a fazer consultas à BD, tanto a nível de permissões de utilizadores como em relação aos grupos, cujos nomes são transmitidos aos clientes periodicamente. Os nomes dos grupos são utilizados pelos clientes no momento da criação de um esquema, pois é necessário escolher quais os grupos que devem recebê-lo. Tal não significa que todos os destinatários escolhidos recebem o esquema, uma vez que, com base nas permissões, é o servidor que decide a quem pode enviar o esquema, informando depois o cliente se o envio foi efectuado com sucesso ou se existem grupos que não o receberam. Esta mecânica foi implementada para garantir que os carros, em geral, só enviem esquemas para o carro de comando para que este, por sua vez e depois de avaliar a sua importância, os envie para os restantes elementos da rede.

Em relação às coordenadas extra de georreferenciação, tal como no caso da propagação de esquemas pela rede, é uma tarefa de responsabilidade, uma vez que estas coordenadas alteram o cálculo das posições dos utilizadores, portanto só deve ser permitido a utilizadores de hierarquias mais elevadas, como por exemplo, carros de comando.

Capítulo 4 - Testes da Aplicação

4.1 - Introdução

Neste capítulo são descritos os testes realizados às aplicações desenvolvidas. Inicialmente testa-se a qualidade da georreferenciação e a quantidade de pontos que devem estar presentes nas imagens para que os cálculos de posicionamento sejam o mais aproximado do real possível. O segundo teste tem como propósito avaliar a velocidade de transmissão de dados na rede, utilizando para isso a transmissão de um mapa para vários utilizadores. O terceiro teste serve para perceber qual o atraso de preenchimento da janela da aplicação quando se têm de apresentar as posições de vários utilizadores. No quarto teste faz-se uma estimativa da precisão dos cálculos utilizados para determinar a orientação dos utilizadores. No último faz-se uma estimativa do volume de tráfego transmitido pelos utilizadores.

4.2 - Número de pontos de georreferenciação

4.2.1 - Introdução

Tal como explicado no capítulo 3, o processo de georreferenciação está associado a erros. Esses erros podem ocorrer devido a distorções, por exemplo, quando se digitaliza a imagem para a utilizar. No processo de georreferenciação escolhido neste projecto assume-se que todos os pixéis numa linha horizontal têm a mesma latitude e que todos os pixéis numa linha vertical têm a mesma longitude. Esta variação da latitude e longitude depende da projecção utilizada e é falsa na maior parte dos casos, onde a latitude e longitude são iguais ao longo de curvas. Isto significa que quanto mais longe estão os pontos de georreferenciação utilizados, maior o erro do cálculo da representação do utilizador no mapa. A utilização de um número superior de pontos de georreferenciação serve para compensar este erro, tornando as coordenadas associadas a cada pixel da imagem mais precisas. Com o intuito de minimizar os erros de georreferenciação, realizou-se um teste de modo a perceber qual a distância ideal entre os pontos de georreferenciação e qual o espaçamento dos pontos de uma grelha para cobrir um mapa integralmente, obtendo-se assim a mesma precisão de cálculos em todo o mapa.

4.2.2 - Teste

Foi utilizado um mapa retirado do *Google Earth*, onde foram marcados vários pontos de georreferenciação, de modo a que cada par de pontos tivesse uma distância correspondente a metade da distância do par anterior, sendo o primeiro par os cantos utilizados para a georreferenciação mínima. Deste modo, cada par simula uma rede de pontos mais compacta. O mapa e os pontos utilizados são apresentados na Figura 51.

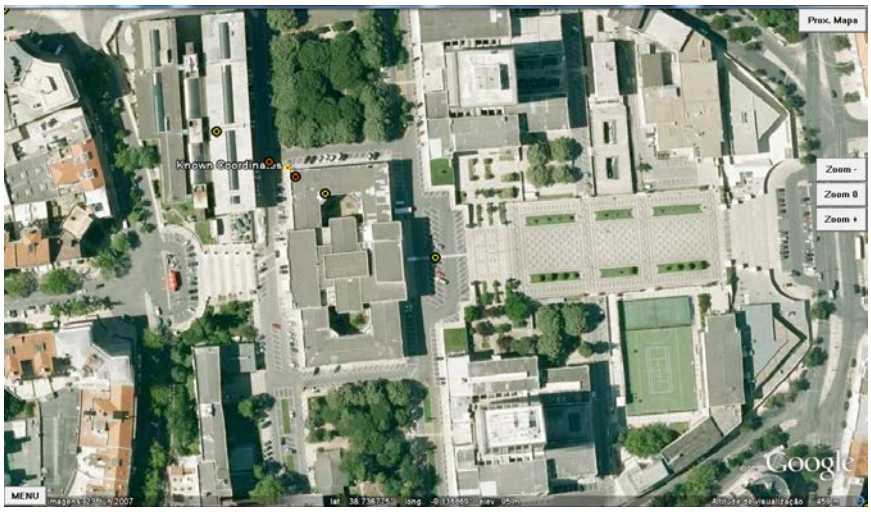
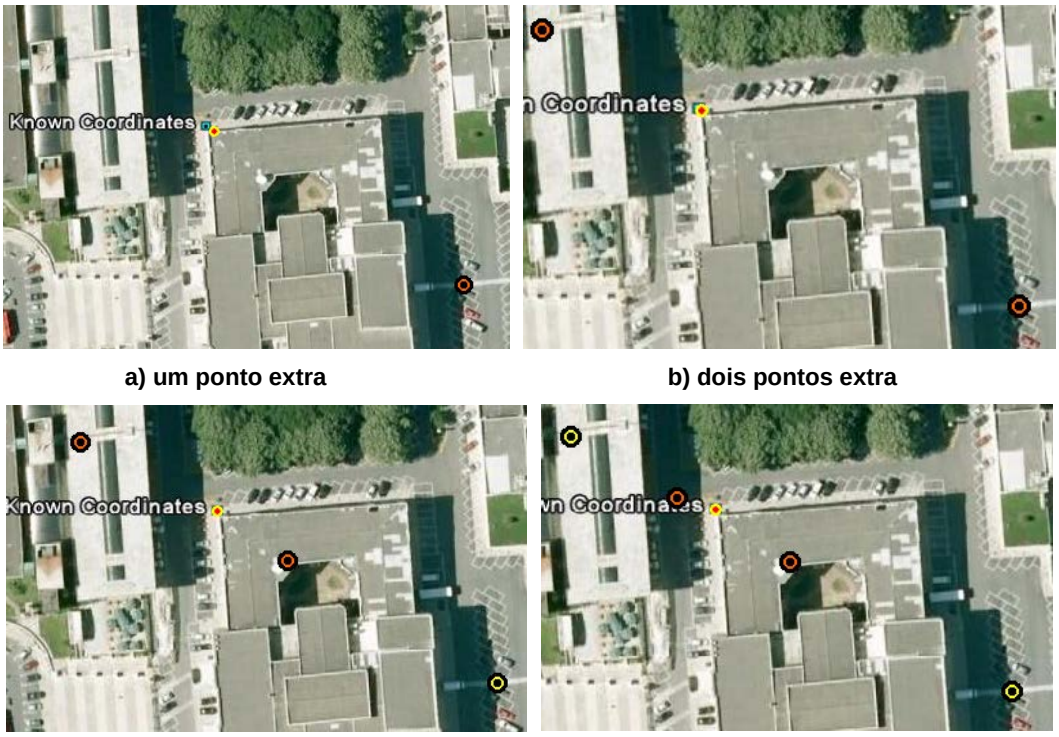


Figura 51 - Mapa de teste

Para além dos pontos de georreferenciação também foi marcado um ponto de referência. As coordenadas desse ponto foram depois introduzidas na aplicação Cliente, como se se tratassem de coordenadas recebidas pelo receptor GPS. Deste modo, comparando o ponto calculado pela aplicação e o ponto marcado na imagem como referência, obtém-se o erro de cálculo da representação do utilizador no mapa, ou seja o erro de georreferenciação. Na Figura 52 apresentam-se os resultados deste teste. As distâncias de erro obtidas foram depois medidas no *Google Earth* de modo a obterem-se valores para os erros.



a) um ponto extra **b) dois pontos extra**

c) três pontos extra **d) quatro pontos extra**

Figura 52 - Resultados do teste:
a) Um ponto extra; b) Dois pontos extra; c) Três pontos extra; d) Quatro pontos extra.

Como se pode observar pela Figura 52 e foi medido no *Google Earth*, para o caso a) o erro corresponde a uma distância de aproximadamente 3m, para o b) um erro de cerca de 1m e para os casos c) e d), um erro de menos de 50cm.

4.2.3 - Conclusão

Como o caso na Figura 52 d) não apresenta melhorias relativamente ao caso c) da mesma figura, considerou-se este o caso com o melhor resultado. Em termos de qualidade do cálculo e para o tipo de utilização das aplicações, o erro obtido no caso da Figura 52 b) também é aceitável. Os pontos deste caso limitam uma área de, aproximadamente, 4.51'' de longitude e 2.07'' de latitude (aproximadamente 110m por 40m) enquanto os do caso c) correspondem a uma área de, aproximadamente, 2.75'' de longitude e 1.03'' de latitude (aproximadamente 55m por 20m). O número de pontos de georreferenciação necessários para cobrir o mapa utilizado por inteiro, no caso da Figura 52 c) é 41 enquanto no caso b) da mesma figura é 13. Conclui-se portanto, que o caso b) da Figura 52 é o que apresenta uma melhor relação entre o número de pontos de georreferenciação necessários e o erro de cálculo da representação de um utilizador na imagem. Isto significa que, para qualquer mapa, e excluindo distorções da imagem, a colocação de pontos de georreferenciação de modo a que a área delimitada por cada par seja a mesma do caso b), leva a um erro de cálculo aceitável na representação de um utilizador.

4.3 - Tempos de transmissão de dados na rede

4.3.1 - Introdução

Para testar o tempo de transmissão de dados na rede, realizou-se um teste utilizando o pior caso de transmissão de dados: o caso da transmissão de um mapa do servidor para a rede. Esta sequência de comunicação envia, do servidor, para todos os clientes ligados a si, uma imagem *jpeg* ou *bitmap* seguida da informação necessária para a georreferenciar. O mapa escolhido para o teste tem um tamanho de 346181 bytes. Para além disso, foi utilizado o mesmo terminal para abrir todas as aplicações (servidor e clientes).

4.3.2 - Teste

O mapa utilizado é composto por 346.181 *bytes* e o número de utilizadores ligados ao servidor foi aumentado progressivamente, começando em 1 até atingir 15. O tempo de transmissão foi contabilizado desde que o servidor envia a primeira mensagem relativa ao envio do mapa (mensagem 5 – PrepMapa) até o cliente que recebe a última parte da informação de georreferenciação do mesmo (mensagem 500 – InfoMapa). A sequência de transmissão entre o servidor e um utilizador é apresentada na Figura 53. Esta e todas as outras sequências de mensagens podem ser vistas no Anexo B.

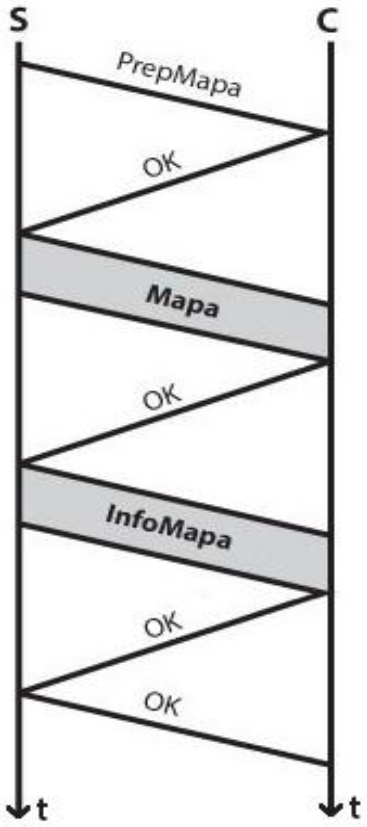


Figura 53 – Exemplo de transmissão de um mapa.

Os resultados obtidos apresentam-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados do envio de um mapa para a rede

Nº de utilizadores ligados ao servidor	**Tempo necessário para o envio do mapa [ms]**
1	607
2	866
3	1225.3
4	1521.5
5	1802.4
10	3626.5
15	5740.3

Estes resultados, como se pode observar, indicam, como esperado, que, se o número de clientes aumentar, o tempo de transmissão também aumenta. Para uma melhor percepção da variação do tempo, os resultados da tabela foram convertidos num gráfico, que pode ser observado na Figura 54.

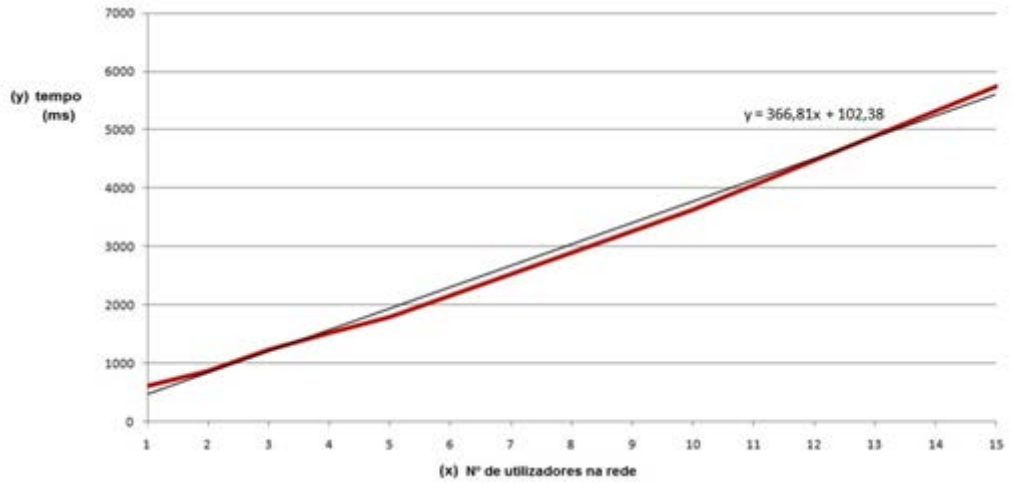


Figura 54 - Tempo de transmissão de um mapa para a rede.

Como se pode visualizar no gráfico, o aumento do tempo de transmissão na rede, y, é quase linear. Utilizando uma recta para aproximar a recta obtida com os resultados do teste, obtém-se a recta dada pela expressão (16).

$$y\ (ms) = 366.81x + 102.38 \quad (16)$$

Uma vez que os meios para testar a aplicação são um pouco limitados, o que impossibilita o teste em grande escala, pode calcular-se uma estimativa do tempo necessário para transmitir este mapa se um grande número de utilizadores estiver ligado ao servidor. Para um valor de utilizadores (x) de 100, a estimativa do tempo (y) é de 36.783,38 ms.

4.3.3 - Conclusões

Se o número de utilizadores ligados ao servidor aumentar, o tempo necessário para transmitir um mapa vai ser cada vez maior o que coloca toda a rede em espera durante um período cada vez mais longo. Este período, na realidade, poderá ser um pouco reduzido, se for tido em conta que todas as aplicações, tanto o Servidor como os Clientes, foram executadas no mesmo terminal, o que diminui a capacidade de processamento do mesmo, uma vez que quanto maior o número de aplicações a serem executadas num computador, mais lento este fica a responder. Por outro lado, uma vez que todas as aplicações partilharam o mesmo terminal, as comunicações são quase instantâneas, o que não acontece se cada aplicação estiver num terminal diferente, cada um com velocidades diferentes de transmissão de dados. Mesmo assim, apesar da rede ficar ocupada durante um número elevado de segundos, a informação vai sendo transmitida e a rede acaba por ficar desobstruída sem consequências negativas para a mesma aparte do atraso na transmissão dos dados.

4.4 - Velocidade de preenchimento da janela da aplicação

4.4.1 - Introdução

Com o intuito de testar a velocidade a que a janela da aplicação é preenchida, foi realizado um teste com um número de utilizadores cada vez maior, primeiro apenas com as suas posições e depois utilizando direcções de movimentação. Sempre que se utiliza uma direcção de movimentação, o ângulo que esta faz com o Norte tem que ser calculado, aumentando assim o tempo de processamento.

4.4.2 - Teste

Mais uma vez todas as aplicações foram iniciadas no mesmo terminal e a imagem utilizada foi sempre a mesma, o *Mapa 1.jpg*. Na Tabela 3, apresentam-se os resultados do primeiro caso do teste, onde apenas se utilizaram as posições dos utilizadores.

Tabela 3 – Resultados do tempo de preenchimento da janela (1)

Nº de utilizadores desenhados	**Tempo de preenchimento da janela [ms]**
0	15.6
1	15
2	34.4
3	31
5	47
10	70

Como se pode observar na Tabela 3 e como era previsto, o tempo que a aplicação leva a preencher a sua janela aumenta de acordo com o número de utilizadores que tem que desenhar. Para todos os casos, o primeiro utilizador é o utilizador da aplicação e os outros são utilizadores que a aplicação recebe através do servidor.

Através do gráfico apresentado na Figura 55 pode ter-se uma ideia melhor do crescimento do tempo com o aumento do número de utilizadores.

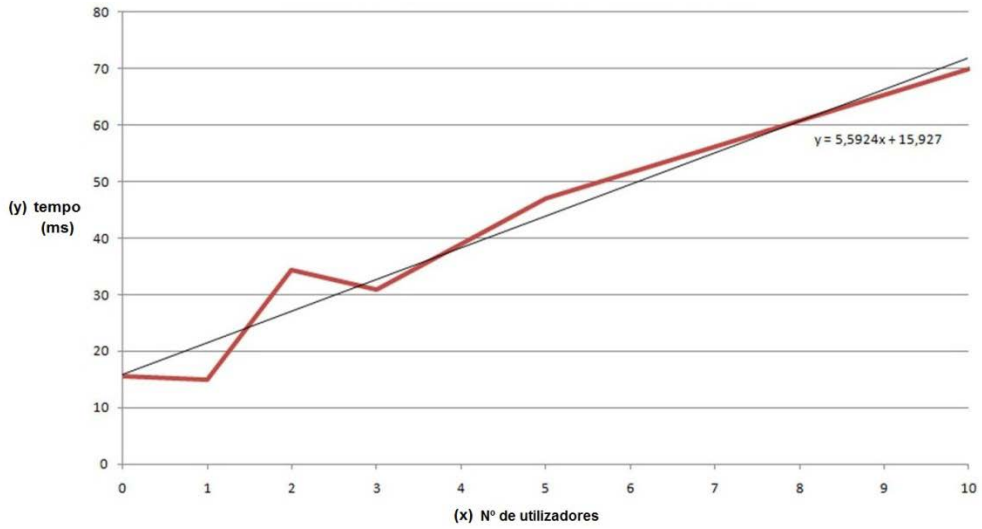


Figura 55 - Tempo de preenchimento da janela (1).

Como se pode observar no gráfico, apesar de, com poucos utilizadores, o tempo não variar de forma muito uniforme, para um número um pouco maior, a variação torna-se mais linear. Aproximando a linha que se obtém no gráfico por uma recta linear, obtém-se uma recta com a expressão (17).

$$y\ (ms) = 5.592x + 15.927 \quad (17)$$

De acordo com a recta da expressão (17), para um valor elevado de utilizadores para colocar na janela, por exemplo 100, o tempo estimado para o preenchimento da janela é de 575,167 ms, ou seja, pouco mais de meio segundo.

Na Tabela 4 mostram-se os resultados para o mesmo teste mas com a visualização das direcções de movimentação, o que implica, mais cálculos por parte da aplicação.

Tabela 4 – Resultados do tempo de preenchimento da janela (2)

Nº de utilizadores desenhados	**Tempo de preenchimento da janela [ms]**
1	34.2
2	46.8
3	47

Como esperado, o tempo de preenchimento da janela aumenta com o número de utilizadores e é superior aos tempos do ensaio anterior, quando apenas se colocavam as posições dos utilizadores na janela. Para se poder comparar os dois resultados colocaram-se estes resultados no mesmo gráfico que os do teste anterior. A comparação pode ser visualizada no gráfico da Figura 56.

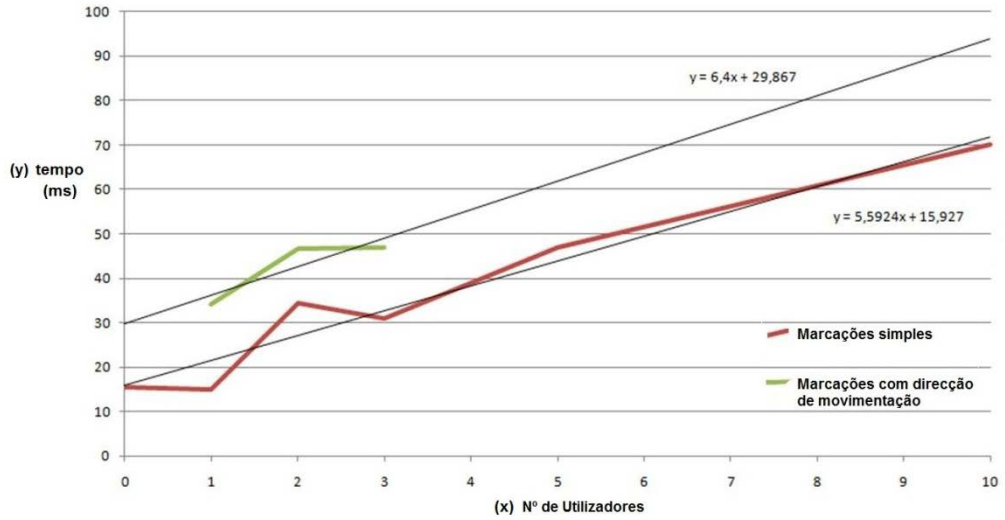


Figura 56 - Tempo de preenchimento da janela (2).

Através da observação do gráfico da figura 56, considerou-se que o aumento do tempo de preenchimento da janela, quando se marcam as direcções de movimentação, tem um aumento quase linear em relação aos tempos de preenchimento para posições simples, ainda que tenham sido utilizados poucos pontos. Assim, tal como se fez anteriormente, pode aproximar-se a recta obtida por uma recta linear, que tem a expressão (18).

$$y\ (ms) = 6.4x + 29.867 \qquad (18)$$

De acordo com a expressão (18), se existir um grande número de utilizadores ligados à rede, por exemplo 100, e um cliente tiver de preencher a sua janela com as direcções de movimentação de todos eles, a estimativa do tempo de preenchimento da janela é de 669,867 ms. Este valor é cerca de 100 ms maior do que o valor estimado para a marcação de posições simples.

4.4.3 - Conclusões

Como esperado, quanto maior o número de utilizadores a mostrar na janela, maior o tempo necessário para que a aplicação preencha a mesma. Como previsto, quando se mostra a direcção de movimentação dos utilizadores, o tempo que a aplicação leva a desenhá-los na janela é maior quando comparado com o preenchimento com posições simples. Isto acontece devido aos cálculos necessários para encontrar o ângulo que a direcção de cada utilizador faz com o Norte e o processamento necessário para rodar o marcador de cada utilizador para ilustrar o ângulo calculado.

Ainda que o desenvolvimento da aplicação tenha sido feito de forma a tentar optimizar estes tempos de preenchimento da janela, o valor estimado para um grande número de utilizadores, 100, é muito elevado tanto para a marcação de posições simples como para a marcação de direcções de movimentação. Quando a aplicação apenas está a mostrar as posições dos utilizadores não existe problema pois as posições dos mesmos apenas são actualizadas a cada cinco segundos. O problema está em quando se está a manipular o mapa, tanto através de *zoom* como *pan*, ou quando se está a desenhar um esquema, uma vez que a janela é desenhada em intervalos de tempo muito reduzidos, no caso do *pan*, a cada 300 ms, fazendo com que o atraso no preenchimento da janela seja notório.

Uma alteração possível na aplicação, uma vez que não se pode diminuir o tempo de preenchimento da janela quando o número de utilizadores aumenta, é não colocar os utilizadores na janela quando se está a manipular a imagem ou a desenhar um esquema.

4.5 - Precisão do cálculo de orientação

4.5.1 - Introdução

Para testar a precisão das orientações calculadas pela aplicação Cliente, conforme explicado na secção 3.5.3.1, foi realizado um teste onde se recolheram os dados da aplicação durante um determinado período de tempo, tendo-se depois calculado a média e o desvio padrão e comparado esse valor com o valor real, conhecido desde o início do teste.

4.5.2 - Cálculos

O período de tempo utilizado para a recolha dos dados foi de 10 minutos e o veículo ficou estático durante todo o teste. A recolha foi realizada apenas depois da posição do utilizador estar minimamente estável, ou seja, com poucas variações em cada actualização de ecrã. Uma vez que a orientação de um utilizador é recalculada a cada cinco segundos, um período de 10 minutos de dados implicaria uma tabela com 120 entradas. Por este motivo apenas se apresenta a média e o desvio padrão obtidos. A expressão (19) foi utilizada para o cálculo da média, onde $\bar{X}$ corresponde à média, x(t) aos valores recolhidos e n_x ao número de pontos recolhidos. A expressão (20) foi utilizada para calcular o desvio padrão, σ.

$$\bar{X} = \frac{\sum[x(t)]}{n_x} \tag{19}$$

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum[\mathrm{x(t)} - \bar{\mathrm{x}}]^2}}{\mathrm{n}_x - 1} \tag{20}$$

4.5.3 - Conclusão

O valor calculado para a média dos valores recolhidos foi de, aproximadamente, 20.57º com um desvio padrão de, aproximadamente, 2.97º. Na Figura 57 pode ver-se o mapa utilizado para

o teste e, tendo em conta que o veículo estava estacionado no local da imagem, a orientação do mesmo era de cerca de 21º, valor que se encontra dentro dos valores obtidos.

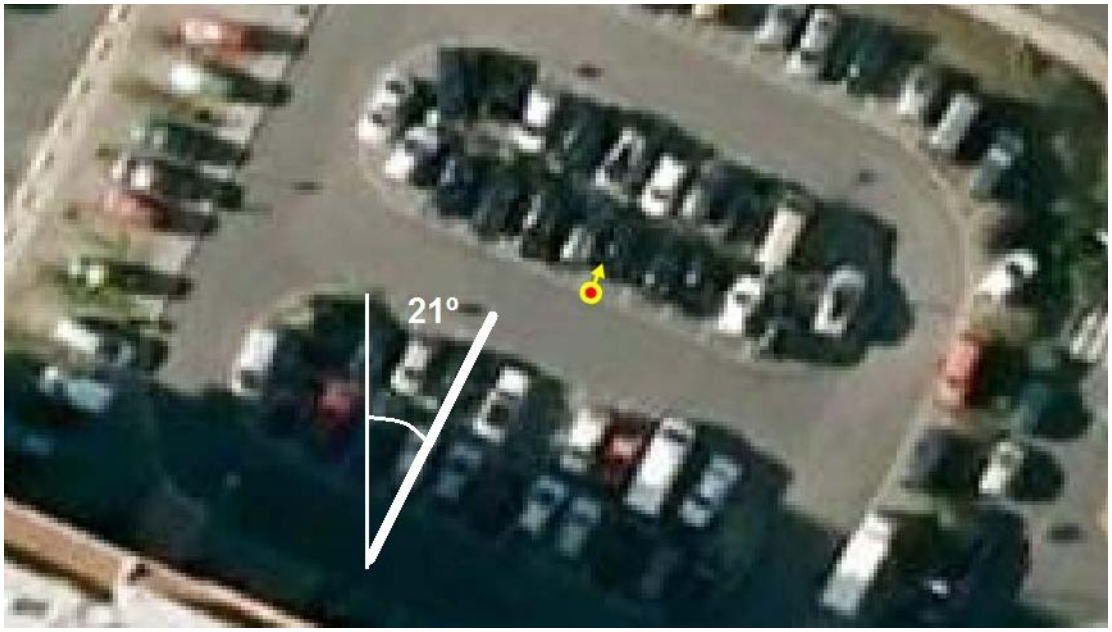


Figura 57 – Teste da orientação

Os valores calculados, uma vez que dependem das posições obtidas pelos dois receptores GPS, só devem ser tidos em consideração quando essas posições estão estáveis e quando as condições são favoráveis à utilização do sistema GPS. Quando as posições ainda não estão estabilizadas ou o veículo está localizado numa zona interior ou em ambiente urbano, as orientações calculadas podem ser incorrectas.

4.6 - Estimativa do volume de tráfego utilizado pelo sistema

4.6.1 - Introdução

Nesta secção são feitos alguns cálculos para determinar o volume de tráfego utilizado pelas aplicações desenvolvidas no funcionamento básico da aplicação, ou seja, quando apenas se transmitem as coordenadas de posicionamento dos utilizadores do sistema.

4.6.2 - Cálculos

Na maior parte do tempo, as mensagens trocadas entre os Clientes e o Servidor são mensagens com informação acerca do posicionamento dos utilizadores da rede. Hoje em dia o tráfego contabilizado são os *downloads*, por isso os cálculos feitos a seguir vão contabilizar apenas essa componente do tráfego. No sentido do Servidor para o Cliente, o utilizador recebe mensagens periódicas com as posições de todos os utilizadores, exceptuando o receptor da mensagem. Como se pode ver na Figura 58, assim como no Anexo B, as mensagens têm o seguinte formato:

$	ID utilizador	ID mensagem	tamanho corpo	#	corpo	*checksum*
(1 byte)	(variável)	(3 bytes)	(3 bytes)	(1 byte)	(variável)	(2 bytes)

Figura 58 - Formato das mensagens trocadas no sistema.

No caso das mensagens de coordenadas enviadas do servidor, o corpo da mensagem é composto pelo número de IDs e coordenadas que vão ser enviados e pelos IDs e coordenadas

dos utilizadores que pertencem à mesma operação que o receptor da mensagem. Toda a informação é separada pelo caracter ASCII '*'.
Fazendo os cálculos para um número pequeno de utilizadores, por exemplo 10, e partindo do princípio que metade dos utilizadores têm acesso a dois receptores GPS, o tamanho de cada mensagem é o seguinte:

- Cabeçalho da mensagem: 11 bytes (ID utilizador, tendo por base as identificações dos carros dos bombeiros, ou seja, 4 dígitos + 4 letras + 3 dígitos) + 3 bytes (ID mensagem) + 3 bytes (tamanho do corpo) + 1 byte (#) = 18 bytes;
- Informação de um utilizador com um par de coordenadas: 11 bytes (ID utilizador) + 1 byte (*) + 29 bytes (posição do utilizador: latitude entre 0 e 90 com 10 casas decimais, seguido da orientação + longitude entre 0 e 180 com 10 casas decimais, seguido da orientação) = 41 bytes;
- Utilizador com dois pares de coordenadas: 41 bytes (explicado no ponto anterior) + 1 byte (*) + 29 bytes (posição do segundo receptor) = 71 bytes;
- Divisor entre informação de utilizadores: 1 byte (*).

Aplicando este valor de bytes na mensagem acima descrita com 10 utilizadores, o tamanho total será:

18 (cabeçalho) + 5 x 41 (utilizador com um receptor) + 5 x 71 (utilizador com dois receptores) + 9 (separador entre utilizadores) = 587 bytes.
Numa hora são transmitidos 587 x 12 (nº mensagens por minuto) x 60 = 422640 bytes por hora, ou seja, aproximadamente 0.4 MB / h.

Admitindo um número de veículos muito grande, por exemplo, 100, onde metade tem acesso a dois receptores, os valores calculados são os seguintes:
Uma mensagem tem 5717 bytes, que corresponde a 4116240 bytes por hora, ou seja, aproximadamente 3.9 MB / h.

4.6.3 - Conclusão

Como se pode ver pelos cálculos, o custo de funcionamento do sistema, num funcionamento apenas com partilha de posições dos utilizadores, gasta no caso aceitável, 0.4 MB/h e no pior caso, 3.9MB/h. As redes móveis normalmente oferecem 100MB de tráfego mensal aos seus clientes, que, no caso normal, daria para 250 horas (100 / 0.4) e, no pior caso, 25 horas. Tendo estes valores em conta, e considerando que o pior caso não ocorrerá na maioria das operações, o custo de funcionamento do sistema é considerado como aceitável. Os utilizadores também transmitem diagramas mas como cada diagrama apenas se transmite uma vez, estes não foram contabilizados nos cálculos. Considerou-se que, como o número de utilizadores não deverá chegar perto do pior caso considerado, a diferença entre o caso normal e pior compensa a transmissão dos diagramas.

Adicionalmente, não se efectuaram cálculos para o Servidor, uma vez que se considera como uma estação fixa, e como tal, com possibilidade de ter outros tipos de acesso à *Internet*, onde o tráfego não é um factor, nem em termos de custo nem em termos de autonomia.

Capítulo 5 - Conclusões e Crítica

5.1 - Conclusões

O sistema desenvolvido cumpre os objectivos propostos, com excepção da utilização de terminais sem interface gráfico, uma vez que foi projectado para ser utilizado em veículos utilizados nas operações de protecção civil, através de computadores montados nos mesmos. A utilização de terminais sem interface gráfico, por exemplo, telemóveis ou PDAs, tornaria necessário o desenvolvimento de uma terceira aplicação para esse tipo de terminais.

Tal como estabelecido nos objectivos, a aplicação Cliente permite a visualização da posição do seu utilizador assim como de todos os outros utilizadores da rede, após a sua ligação ao Servidor. Para além disso é possível desenhar diagramas nos mapas utilizados, que depois são enviados para utilizadores seleccionados. Do lado da aplicação Servidor, esta coordena todo o envio de informação para os utilizadores e é possível adicionar mapas aos utilizados na rede. Os mapas utilizados podem ser adicionados manualmente com recurso a imagens digitalizadas e georreferenciadas. Uma vez que o sistema permite georreferenciar qualquer imagem com qualquer número de pontos de georreferenciação, qualquer imagem *jpeg* ou *bitmap* pode ser utilizada como mapa. Para além disso, o erro de georreferenciação pode ser minimizado, como visto na secção 4.2, tornando assim as posições calculadas pela aplicação, bastante mais precisas. Embora fora dos objectivos iniciais, foi também desenvolvido um sistema de cálculo das orientações dos utilizadores, quando estes utilizam dois receptores GPS, de modo a fornecer mais informação acerca dos veículos. A informação da orientação de um utilizador também possibilita a integração de certos sistemas, como visto na secção 5.2.

Em relação aos sistemas deste tipo já existentes, o sistema da presente dissertação conta com a grande capacidade de armazenamento dos computadores portáteis, quando comparada com a dos PDAs, para armazenar qualquer tipo de mapa que seja necessário, dispensando assim um sistema de mapas distribuído, como o utilizado no sistema do TFC 210, [27]. Devido ao tamanho dos ecrãs dos portáteis e ao facto de serem tácteis, estes podem ser manuseados no meio de uma operação sem grande esforço. Nas aplicações desenvolvidas para PDAs, o utilizador tem que utilizar uma caneta para manusear a aplicação, o que pode ser difícil em certas situações. Para além disso, as aplicações desenvolvidas utilizam ficheiros de texto para armazenar as suas definições, facilitando assim a sua inicialização ou reinicialização, no caso da aplicação ser forçada a desligar-se ou se for desligada por acidente no meio de uma operação. Nos outros casos, é necessário configurar a aplicação quando esta é iniciada. A aplicação Cliente da presente dissertação é também a única de entre os projectos analisados na secção 3.2 que permite a visualização da orientação dos utilizadores.

Tendo sido testado quanto às suas funcionalidades e capacidades, conclui-se que o projecto da presente dissertação poderá atingir o nível comercial com algumas modificações e correcções de forma a tornar as aplicações desenvolvidas ainda mais robustas e seguras. Essas modificações são discutidas na secção seguinte, Crítica.

5.2 - Crítica

Um aspecto do sistema, encontrado durante os testes ao sistema desenvolvido, ocorreu durante a tentativa de ligação de dois utilizadores ao Servidor, utilizando o mesmo *ID*. Quando isto sucede, o Servidor não sabe qual dos dois utilizadores deve manter ligado e por definição desliga o segundo utilizador a tentar ligar-se. Para evitar este tipo de situações, assim como para impedir que estranhos se consigam ligar à rede, poderia ser implementado um sistema de chaves que o Servidor criaria durante a sua inicialização e enviaria para os utilizadores na primeira tentativa de ligação destes. Essa chave seria depois pedida sempre que um utilizador tentasse estabelecer uma ligação com o Servidor, evitando que alguém estranho à rede se

conseguisse ligar. Para além da chave criada pelo Servidor, que só se utilizaria depois da primeira ligação estabelecida, também se poderia utilizar uma *password* que os Clientes enviariam para o Servidor durante a tentativa de ligação. Estas duas características não chegaram a ser implementadas pois seria necessário alterar o protocolo das comunicações, assim como a aplicação Cliente e a aplicação Servidor, o que seria um processo demorado e estas características só foram consideradas durante os testes do projecto, não estando incluídas nos objectivos iniciais.

A aplicação Servidor encontra-se preparada para receber dados de dois tipos de utilizadores diferentes, uma vez que tem acesso a marcadores de posição de duas cores. Utilizando um dos tipos para os veículos e o outro para os operacionais a pé, seria possível acrescentar à rede aplicações móveis, na forma de PDAs e telemóveis, como pedido nos objectivos do trabalho. Este tipo de utilizadores não foi contemplado de início, pois foi necessário criar a aplicação para os veículos e a aplicação Servidor e o desenvolvimento de uma aplicação para dispositivos móveis teria que fazer uso de uma linguagem de programação um pouco diferente da utilizada para as restantes aplicações. Tal como dito anteriormente, uma aplicação para dispositivos móveis poderia fazer uso de outros sensores, como se faz no sistema *I-Garment*. Uma vez criada esta terceira aplicação, bastaria que ela respeitasse o protocolo de comunicações criado neste projecto para poder interagir com o sistema desenvolvido, permitindo que a aplicação Cliente mostrasse os utilizadores a pé, depois de registados na base de dados do Servidor. Através da orientação dos utilizadores calculada quando estes têm acesso a dois receptores GPS, é possível integrar o sistema desenvolvido com um sistema de câmaras, permitindo à aplicação cliente apresentar o raio de visão das mesmas nos mapas utilizados. Isto poderia até permitir que clientes com permissões mais elevadas controlassem as câmaras, no caso de serem câmaras móveis (com possibilidade de fazer *pan*).

Referências

[1] - *Navigation Center*, "*NAVSTAR User Equipment Introduction, Public Release Version"*, 1996 *(*http://www.navcen.uscg.gov).

[2] - *Daly, P.; Dept. of Electron. & Electr. Eng.,* Universidade de Leeds, Inglaterra, *"Navstar GPS and GLONASS: global satellite navigation systems"*, *40th Congress of the International Astronautical Federation*, Malaga, Espanha, 1989.

[3] - *Prater S.,* "*Airmen Upgrade GPS Constellation", 50th Space Wing Public Affairs Schriever AFB CO (AFNS)* Jun 03, 2010 (http://www.spacedaily.com/reports/Airmen_Upgrade_GPS_Constellation_999.html).

[4] - Wikipedia GPS constellation (http://en.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System).

[5] - *United States Naval Observatory*, "*Block I Satellite Information",* relatório de 12 de Abril 1996 (ftp://tycho.usno.navy.mil/pub/gps/gpsb1.txt).

[6] - *United States Naval Observatory*, "*Block II Satellite Information",* relatório de 30 de Agosto 2010 (ftp://tycho.usno.navy.mil/pub/gps/gpsb2.txt).

[7] - *Lumpkins W., Sr. Member IEEE, Sr. FAE, "GPS and WiFi Technology",* apresentação da empresa Wi2Wi, 12 de Maio de 2009 (http://www.dallasces.org/talks/IEEE_CE_Dallas_Wifi_may12_2009.pdf).

[8] - Kowoma.de, "*Control Segment (Monitor Stations)*", 2009 (www.kowoma.de/en/gps/control_segment.htm).

[9] - Website da tecnologia *Bluetooth* (http://www.bluetooth.com).

[10] - Website da TMN (http://www.tmn.pt/portal/site/tmn/menuitem.13aad151ea0dd79ae8f48210751056a0/?vgnextoid=6f181639addae010VgnVCM1000005401650aRCRD).

[11] - *Usha Communications Technology*, "*GPRS General Packet Radio Service*", *white paper*, 2000 (http://www.mobilein.com/GPRS.pdf).

[12] - *Nokia*, "*Enhanced Data Rates for GSM Evolution, EDGE*", *white paper,* 1999.

[13] - *Ericsson*, "*The evolution of EDGE*", *white paper,* 2009.

[14] - *Rysavy R., "Data Capabilities: GPRS to HSDPA", white paper for 3G Americas,* 2004 (http://www.rysavy.com/Articles/rysavy_data_sept2004.pdf).

[15] - Tapia P., Jun Liu, Yasmin Karimli, Martin J. Feuerstein, *"HSPA Performance and Evolution"*, John Wiley & Sons Ltd, 2009.

[16] - Codd E.F., *"A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks"*, revista *Communications of the ACM*, 1970 (http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.98.5286&rep=rep1&type=pdf).

[17] - Chamberlin, D.D & Boyce, R.F., "*SEQUEL: A Structured English Query Language"*, *Proceedings of the 1974 ACM SIGFIDET (now SIGMOD) workshop on Data description, access and control*, 1974 (http://www.almaden.ibm.com/cs/people/chamberlin/sequel-1974.pdf).

[18] - Collins C., *"History of the SQL"*, artigo do *blog* do autor, 2007 (http://ccollins.wordpress.com/2007/05/20/history-of-sql).

[19] - *Yang H., "MySQL Tutorials - Herong's Tutorial Notes*", livro no *site* do autor, 2009 (http://www.herongyang.com/MySQL/About-MySQL-Tutorial-Book.html).

[20] - ANSI/ISO/IEC *International Standard (IS), "DatabaseLanguageSQL—Part2: Foundation (SQL/Foundation)"*, documento do standard de SQL, 1999 (http://webdocs.cs.ualberta.ca/~yuan/courses/db_readings/ansi-iso-9075-2-1999.pdf).

[21] - SQL Tutorial (http://www.w3schools.com/sql/).

[22] - *Website* de KML do Google (http://code.google.com/intl/pt-PT/apis/kml/documentation/).

[23] - Tocha F., "Sistema de posicionamento coordenado baseado em GPS: *Geocommunicator*", Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, 2008.

[24] - Carvalho N., "*I-Garment Case Study: Location and Monitoring Applications Through Satellite Communications"*, apresentação do projecto *I-Garment,* 2005.

[25] - *Maly R.J.*, *"Comparison of Centralized (Client-Server) and Decentralized (Peer-to-Peer) Networking"*, Tese de semestre, Maio de 2003 (ftp://ftp.tik.ee.ethz.ch/pub/students/2002-2003-Wi/SA-2003-16.pdf).

[26] - Sanguino J., Material de apoio à disciplina Sistemas de Navegação, do currículo de Mestrado em Engenharia Aeroespacial, do Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 2010.

[27] - Santos, D., Matos, R., Sanguino, J., Rodrigues, A., "*Automatic Location-based Map Distribution Service for Mobile Coordinated Positioning System*", Conferência Internacional IADIS, WWW/Internet 2006, Murcia, Espanha, 6-7 Outubro 2006, vol. 2, pp. 305-309.

[NMEA-1] – NMEA, "*The NMEA 0183 Protocol*" v3.0 do documento de *standard*.

[F1] - http://www.shopping.com/Tomtom-TomTom-Go-630-T/info

[F2] - http://www.todaygadgets.com/2009/02/12/io-data-usbgps2smd9-usb-gps-receiver/

[F3] - http://www.paseoramos.com/en/electronica/38-mini-bluetooth-usb-20.html

Anexo A - *Standard* NMEA e utilização das coordenadas recolhidas

A.1 - *Standard* NMEA

A.1.1 - Introdução

O *National Marine Electronics Association* (NMEA) é uma associação de fabricantes, distribuidores, concessionários, instituições educacionais, entre outras, ligadas à navegação por via de dispositivos electrónicos. O NMEA ou NMEA 0183 define os *interfaces* de ligação entre esses dispositivos e os seus protocolos de comunicações, [NMEA-1].

Actualmente, esta norma encontra-se na versão 4.0, mas para a elaboração do projecto foi utilizada a versão 3.0.

A.1.2 - Mensagens utilizadas

No protocolo do NMEA existem inúmeros tipos de mensagens, cada uma com tipos de informação diferente, entre as quais: algumas contêm informação de posição, outras dão a conhecer a validade da informação fornecida por um certo dispositivo, outras têm ainda informação acerca da direcção. Independente do tipo, todas as mensagens se iniciam com "$" e são finalizadas com o *checksum* da mensagem.

Existe, no protocolo, um certo número de mensagens para navegação por GPS. Estas mensagens têm o prefixo GP. No projecto da presente dissertação apenas se utilizaram duas mensagens: a mensagem GPGGA e a mensagem GPRMC. Existem outras mensagens que poderiam ter sido utilizadas, mas as duas em questão continham a informação necessária e foram consideradas suficientes, uma vez que os dispositivos funcionam a 1 Hz, logo, uma vez por segundo enviam todos os tipos de mensagem para o utilizador. Para além disso, os tipos de mensagem escolhidos são dos mais simples, logo, estão presentes seja qual for o modelo de receptor GPS utilizado.

- GPGGA – Dados de correcção GPS. Contém dados de correcção assim como de hora e posição para um receptor GPS. Na Figura A.1 está presente a estrutura desta mensagem, [NMEA-1].

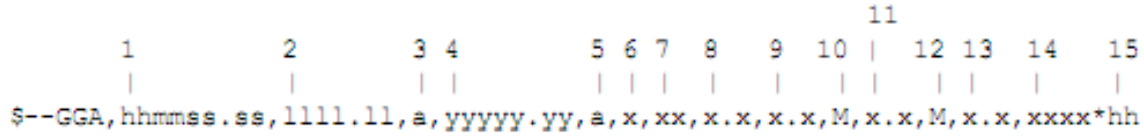


Figura A.1 – Mensagem GPGGA.

1) Hora (UTC);
2) Latitude;
3) N (Norte) ou S (Sul);
4) Longitude;
5) E (Este) ou W (Oeste);
6) Indicador de qualidade do sinal GPS:
   a) 0 – Sinal não válido;
   b) 1 – Sinal GPS válido;
   c) 2 – Sinal de GPS Diferencial (DGPS).
7) Número de satélites em linha de vista, 00 – 12;
8) Diluição horizontal da precisão;
9) Altitude da antena acima/abaixo do valor médio da altura do oceano (*geoid*);
10) Unidades de altitude da antena, em metros;
11) Separação *Geoidal*, a diferença entre o elipsóide WGS-84 terrestre e o valor médio da altura do oceano (*geoid*), "–" significa *geoid* abaixo do elipsóide;

12) Unidades de separação *geoidal*, em metros;
13) Tempo dos dados diferenciais GPS, em segundos, desde o último *update*. Valor nulo quando DGPS não é utilizado;
14) *ID* da estação utilizada como referência quando se utiliza DGPS, 0000-1023;
15) *Checksum*, a soma do valor hexadecimal de todos os valores da mensagem.

- GPRMC – Informação mínima recomendada para navegação. Na Figura A.2 está presente a estrutura desta mensagem, [NMEA-1].

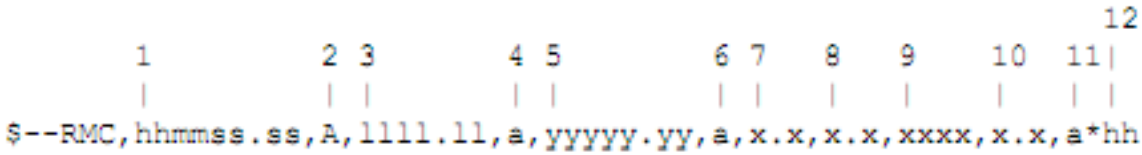


Figura A.2 - Mensagem GPRMC

1) Hora (UTC);
2) *Status*, V = aviso de navegação do receptor;
3) Latitude;
4) N (Norte) ou S (Sul);
5) Longitude;
6) E (Este) ou W (Oeste);
7) Velocidade no solo, em nós;
8) Direcção em relação ao Norte, em graus;
9) Data, em formato ddmmyy;
10) Variação magnética, em graus;
11) E (Este) ou W (Oeste);
12) *Checksum*, a soma do valor hexadecimal de todos os valores da mensagem.

Caso a mensagem retirada do receptor seja uma mensagem GGA, começa por verificar-se o indicador de qualidade do sinal e o número de satélites a que o receptor está ligado. Se o valor da qualidade do sinal for 1 ou 2 e o número de satélites ligados for maior que 0, extraem-se as coordenadas geográficas. No caso da primeira mensagem lida ser RMC, verifica-se o valor do Status. Se for "A", retiram-se as coordenadas geográficas, caso contrário, a mensagem é ignorada por não ser uma posição válida.

A.2 - Utilização das coordenadas geográficas recebidas

Tal como observado anteriormente, embora sem os índices, as coordenadas das mensagens provenientes dos receptores têm a forma

$l_1l_2l_3l_4.ll,a,y_1y_2y_3y_4y_5.yy,a$

onde l_1l_2 corresponde ao valor dos graus da latitude e $l_3l_4.ll$, ao valor dos minutos. O valor de "a" indica se a latitude é Norte ou Sul. De modo a transformar a latitude apenas num valor, convertem-se graus e minutos apenas em graus, utilizando a expressão (A-1).

$$L_{graus} = L^o + L' / 60 \qquad \text{(A-1)}$$

onde L^o corresponde ao valor dos graus da coordenada geográfica, L' ao valor dos minutos da mesma.

Sabendo que o valor de latitude zero é o equador, consideraram-se os valores com orientação Norte como sendo positivos até 90º (Pólo Norte) e os valores com orientação Sul, negativos até -90º (Pólo Sul).

No caso da longitude, o valor de $y_1y_2y_3$ corresponde ao valor dos graus e y_4y_5.yy ao valor dos minutos. Utilizando a expressão (A-1), calcula-se o valor apenas em graus como se fez para a latitude.

Neste caso, o valor de longitude zero corresponde ao meridiano de *Greenwich* e o valor extraído pode estar ou a Oeste deste meridiano, indo até -180º, ou a Este, podendo ir até 180º, que corresponde, em ambos os casos, ao meridiano oposto ao meridiano de Greenwitch.

Esta forma de utilizar a latitude e longitude é bastante útil na marcação das cordenadas num mapa e também na utilização do *Google Earth* uma vez que na linguagem KML, as coordenadas geográficas são indicadas desta maneira (ver Anexo E).

Anexo B - Protocolo de Comunicações entre Servidor e Clientes

B.1 - Formato das mensagens

O formato das mensagens trocadas pelo sistema desenvolvido é apresentado na figura B.1.

$	ID utilizador	ID mensagem	tamanho corpo	#	corpo	*checksum*
(1 byte)	(variável)	(3 bytes)	(3 bytes)	(1 byte)	(variável)	(2 bytes)

Figura B.1 - Formato das mensagens.

Nota: *Checksum* da mensagem – composto pelos 2 *bytes* menos significativos do número de *bytes* total da mensagem (excluindo os *bytes* de *checksum*).

B.2 - IDs de utilizador

Veículos:

X números, 4 letras, Y números (o mesmo identificador que se encontra pintado no próprio veículo).

B.3 - Mensagens (S – só enviada pelo servidor; C – só enviada pelos clientes)

000 – OK
Mensagem para aprovar ou terminar as comunicações.
Mensagem vazia.

001 – ID
Mensagem com informação do utilizador.
Mensagem vazia.

010 – InfoGrupos (S)
Mensagem com a designação dos grupos.
Mensagem composta pelo número de grupos existentes na base de dados do servidor, seguido da designação de cada um. Toda a informação é separada por *.

011 – NotOK
Mensagem de erro.
Mensagem composta pelo código de erro:

1. Utilizador não autorizado;
2. Utilizador já está ligado;
3. Erro no *socket* ou na sequência de mensagens;
4. Pedido de reenvio da última mensagem;
5. Erro genérico, depende do contexto.

100 – *Waiting*
Mensagem para sinalizar a recepção de uma parte da informação.
Mensagem vazia.

020 – Coords (C)
Mensagem com as coordenadas de um utilizador. Se este utilizar dois receptores, as duas coordenadas são separadas por *.

021 – CoordsEx(C)
Mensagem com as coordenadas de um utilizador seguidas do número de esquemas novos que o mesmo pode receber.
Mensagem composta pelas coordenadas do utilizador (ver 020) e o número de esquemas com ID igual a 0. A informação é separada por *.

022 – CoordsM (S)
Mensagem de coordenadas globais, referente a todos os utilizadores pertencentes à mesma operação.
Mensagem composta pelo número de IDs e coordenadas que vão ser enviados e pelos IDs e coordenadas dos utilizadores que pertencem à mesma operação que o receptor da mensagem. Toda a informação é separada por *.

023 – CoordsMEx (S)
Mensagem de coordenadas globais que origina um pedido de IDs por parte do receptor.
Mensagem com a mesma composição da mensagem 022.
Nota: Este ID de mensagem só é usado se o cliente puder receber os esquemas novos existentes no servidor.

003 – PedeIDs (C)
Mensagem para pedir IDs dos esquemas presentes no receptor.
Mensagem vazia.

030 – IDs (S)
Mensagem com os IDs dos esquemas presentes no utilizador.
Mensagem composta pelo número de esquemas que o receptor pode receber e pelos IDs dos mesmos, separados por *.

004 – PedeE
Mensagem de pedido de um esquema.
Mensagem composta pelo ID do esquema pedido.

040 – InfoE
Mensagem com a primeira parte do esquema a ser enviado.
Mensagem composta pelo ID, data de criação, nota e número de pontos existentes no esquema, separados por *.

041 – Esquema
Mensagem com a segunda parte do esquema a ser enviado.
Mensagem composta pelas coordenadas de cada ponto do esquema e informação sobre novo segmento, tudo separado por *.

042 – DestE (S)
Mensagem com a terceira parte do esquema a ser enviado.
Mensagem composta pelo nome dos grupos de destino do esquema, separados por *.

400 – OkE
Mensagem de aviso de recepção total de um esquema e possível pedido de outro.
No caso de ser enviada pelo cliente, a mensagem é vazia ou contém o ID de um novo esquema a pedir ao servidor, se existir.
No caso de ser enviada pelo servidor, a mensagem também contém o ID atribuído ao esquema que acabou de ser recebido, uma vez que, para o cliente, todos os esquemas criados têm ID igual a 0. Toda a informação é separada por *.

401 – NotOkE (S)
Mensagem de aviso de recepção total de um esquema, possível pedido de outro e aviso de impossibilidade de enviar o esquema para alguns grupos.
Mensagem composta pelo ID atribuído pelo servidor ao esquema acabado de receber, pelo nome do(s) grupo(s) a quem o esquema não pode ser entregue e pelo ID do novo esquema a pedir, caso exista. Toda a informação é separada por *.

005 – PrepMapa (S)
Mensagem para avisar o cliente que vai ser enviado um mapa.
Mensagem composta pelo nome do mapa.

050 – Mapa (S)
Mensagem com o mapa.
Mensagem composta pelos *bytes* do mapa.

051 – PrepIMEx
Mensagem a avisar que vão ser enviadas coordenadas extra para um mapa.
Mensagem composta pelo nome do mapa e número de coordenadas extra para o mesmo, separados por *.

500 – InfoMapa (S)
Mensagem com a informação do mapa acabado de enviar.
Mensagem composta pela nota e coordenadas geográficas dos cantos superior esquerdo e inferior direito. Caso existam coordenadas extra, a mensagem é terminada com “1”, caso contrário, com “0”. Toda a informação é separada por *.

501 – InfoMapaEx
Mensagem com as coordenadas extra de um mapa.
Mensagem composta pelas coordenadas extra de um mapa e a sua posição no mesmo, separadas por *.

B.4 - Tabelas

Para uma melhor implementação do protocolo de comunicações na plataforma de coordenação, este foi transposto para uma máquina de estados. Seguidamente, apresentam-se as tabelas correspondentes às máquinas de estados do servidor (S), da Tabela B-5 à B-8, e dos clientes (C), da Tabela B-9 à B-13. As primeiras quatro, da Tabela B-1 à B-4, contêm os IDs e uma pequena descrição dos elementos que constituem as máquinas de estados.

Tabela B-1 - Estados e Entradas existentes para o servidor e clientes

ESTADOS				ENTRADAS			
ID	**DESCRIÇÃO**	**S**	**C**	**ID**	**DESCRIÇÃO**	**S**	**C**
IDLE	Espera alguma entrada	X	X	**R_0**	Recebeu msg OK	X	X
E_0	Espera msg OK	X	X	**R_1**	Recebeu msg ID	X	X
E_Acc	Espera *Accept*		X	**R_10**	Recebeu msg InfoGrupos		X
E_1	Espera msg ID	X		**R_11**	Recebeu msg NotOK	X	X
E_Res1	Espera resultado após enviar msg ID		X	**R_100**	Recebeu msg *Waiting*	X	X
E_fRes1	Espera fim da recepção de msg 010			**R_20**	Recebeu msg Coords	X	
E_10	Espera msg InfoGrupos		X	**R_21**	Recebeu msg CoordsEx	X	
E_E10	Espera envio da InfoGrupos	X		**R_22**	Recebeu msg CoordsM		X
E_CM	Espera msg CoordsM ou CoordsMEx		X	**R_23**	Recebeu msg CoordsMEx		X
E_EC	Espera o envio das coords	X		**R_3**	Recebeu msg PedeIDs	X	
E_30	Espera msg IDs		X	**R_30**	Recebeu msg IDs		X
E_E30	Espera o envio dos IDs	X		**R_4**	Recebeu msg PedeE	X	X
E_40	Espera msg InfoE	X	X	**R_40**	Recebeu msg InfoE	X	X
E_E40	Espera envio da InfoE	X	X	**R_41**	Recebeu msg Esquema	X	X
E_41	Espera msg Esquema	X	X	**R_42**	Recebeu msg DestE	X	
E_i41	Espera sinal para enviar Esquema	X	X	**R_400**	Recebeu msg OkE	X	X
E_E41	Espera envio do Esquema	X	X	**R_401**	Recebeu msg NotOkE		X
E_42	Espera msg DestE	X		**R_5**	Recebeu msg PrepMapa		X
E_i42	Espera sinal para enviar DestE		X	**R_50**	Recebeu msg Mapa		X
E_E42	Espera envio do DestE		X	**R_51**	Recebeu msg PrepIMEx	X	X
E_E401	Espera envio do NotOkE	X		**R_500**	Recebeu msg InfoMapa		X
E_ResD	Espera resultado de esquema enviado		X	**R_501**	Recebeu msg InfoMapaEx	X	X
E_50	Espera mapa		X	**T_Acc**	*Timer* para fazer *accept*	X	
E_i50	Espera sinal para enviar Mapa	X		**T_Crds**	*Timer* para trocar coordenadas		X
E_E50	Espera envio do Mapa	X		**T_Grps**	*Timer* para fazer *update* aos grupos	X	
E_500	Espera InfoMapa		X	**T_Out**	*Timeout* na comunicação	X	X
E_i500	Espera sinal para enviar InfoMapa	X		**C_Liga**	Comando para se ligar ao servidor		X
E_E500	Espera envio da InfoMapa	X		**C_M**	Comando para envio de um mapa	X	
E_501	Espera InfoMapaEx	X	X				
E_i501	Espera sinal para envio do InfoMapaEx	X	X				
E_E501	Espera envio do InfoMapaEx	X	X				

Tabela B-2 - Saídas das máquinas de estados

SAÍDAS			
ID	**DESCRIÇÃO**	**S**	**C**
Liga	Tenta-se ligar ao servidor		X
S_0	Envia msg OK	X	X
S_1	Envia msg ID	X	X
S_10	Envia msg InfoGrupos	X	
S_11	Envia msg NotOK	X	X
S_100	Envia msg *Waiting*	X	X
S_20	Envia msg Coords		X
S_21	Envia msg CoordsEx		X
S_22	Envia msg CoordsM	X	
S_23	Envia msg CoordsMEx	X	
S_3	Envia msg PedeIDs		X
S_30	Envia msg IDs	X	
S_4	Envia msg PedeE	X	X
S_40	Envia msg InfoE	X	X
S_41	Envia msg Esquema	X	X
S_42	Envia msg DestE	X	X
S_400	Envia msg OkE	X	X
S_401	Envia msg NotOkE	X	
S_5	Envia msg PrepMapa	X	
S_50	Envia msg Mapa	X	
S_51	Envia msg PrepIMEx		X
S_500	Envia msg InfoMapa	X	
S_501	Envia msg InfoMapaEx		X
S_last	Re-envia a última mensagem	X	X

Tabela B-3 - Predicados para o servidor e clientes

PREDICADOS			
ID	**DESCRIÇÃO**	**S**	**C**
Acc	Nova ligação criada ao fazer *accept*?	X	
UserOk	Utilizador autorizado e ainda não ligado?	X	
C_w8	Tem envio de coordenadas em lista de espera?		X
Env23	Enviou msg CoordsMEx?	X	
CrdsE	Todas as coordenadas de utilizadores enviadas?	X	
CrdsR	Todas as coordenadas de utilizadores recebidas?		X
10_w8	Tem InfoGrupos em lista de espera?	X	
10E	Enviou InfoGrupos completa?	X	
10R	Recebeu InfoGrupos completa?		X
3_w8	Tem pedido de IDs em lista de espera?		X
30E	Todos os IDs de esquemas enviados?	X	
30R	Todos os IDs de esquemas recebidos?		X
DpEnv	Há esquemas novos para enviar?	X	X
DpPed	Há esquemas novos para pedir?	X	X
40E	Enviou InfoE completa?	X	X
41E	Enviou todos os pontos do esquema?	X	X
42E	Enviou DesdD completa?	X	
40R	Recebeu InfoE completa?	X	X
41R	Recebeu todos os pontos do esquema?	X	X
42R	Recebeu DesdD completa?		X
401E	Enviou o NotOkE completo?	X	
401R	Recebeu o NotOkE completo?		X
DRecOk	O esquema recebido tem os destinatários válidos?	X	
OutroD	A msg OkE ou NotOkE trazia novo pedido?	X	X
5_w8	Tem um mapa para enviar?	X	
50E	Enviou todos os *bytes* do mapa?	X	
50R	Recebeu todos os *bytes* do mapa?		X
500Env	Enviou infoMapa completa?	X	
500Rec	Recebeu InfoMapa completa?		X
501pE	Tem coords extra para enviar para o mapa?	X	
501pR	Tem coords extra para receber para o mapa?		X
51_w8	Tem coords extra para enviar em lista de espera?	X	X
501E	Enviou todas as coords extra?	X	X
501R	Recebeu todas as coords extra?	X	X
NotOk1	Recebeu erro de acesso do utilizador (1 ou 2)?		X
NotOK3	Recebeu erro de *socket* ou de comunicações?	X	X
NotOK4	Recebeu erro de msg não recebida?	X	X
NotOk5	Recebeu erro da transferência actual?	X	X
OkEnv	Ja tinha enviado msg OK, OkE ou NotOkE?	X	X

Tabela B-4 - Acções internas

ACÇÕES			
ID	**DESCRIÇÃO**	**S**	**C**
A_Conn	Tenta ligar-se ao servidor		X
A_pID	Processa ID	X	X
A_pG	Processa nomes dos grupos		X
A_pC	Processa Coords	X	
A_pCM	Processa CoordsM		X
A_pIDs	Processa IDs		X
A_pD	Processa Esquema, qualquer uma das partes	X	X
A_pM	Processa Mapa		X
A_pIM	Processa InfoMapa		X
A_pIMEx	Processa InfoMapaEx	X	X
A_Close	Fecha o *socket* e faz todas as acções associadas	X	X
A_PrepM	Prepara o mapa para ser enviado	X	
A_Liga	Tenta ligar-se ao servidor fazendo *connect*		X
A_SetD	Coloca pedido de esquema(s) em lista de espera	X	X
A_SetIDs	Coloca pedido de IDs de esquemas em lista de espera		X
A_SetCrd	Coloca envio de coordenadas em lista de espera		X
A_SetIG	Coloca envio de InfoGrupos em lista de espera	X	
A_SetM	Coloca envio de mapa em lista de espera	X	

Tabela B-5 - Máquina de estados do servidor (1)

Estados X Entradas	IDLE	E_0	E_1	E_E10	E_EC
R_0	b)	OkEnv: IDLE; ~OkEnv: a); IDLE.	b)	b)	b)
R_1	b)	b)	UserOk: A_pID; S_10; E_0; ~UserOk: S_11; IDLE.	b)	b)
R_11	NotOk4: S_last; NotOk1, NotOk3: A_Close.	NotOk4: S_last; NotOk1, NotOk3: A_Close.	NotOk4: S_last; NotOk1, NotOk3: A_Close.	NotOk4: S_last; NotOk1, NotOk3: A_Close.	NotOk4: S_last; NotOk1, NotOk3: A_Close.
R_100	b)	b)	b)	S_10; 10E: E_0.	(DpEnv: S_23; ~DpEnv: S_22;) CrdsE: E_0.
R_20	A_pC; DpEnv: S_23; ~DpEnv: S_22; CrdsE: E_0; ~CrdsE: E_EC.	b)	b)	b)	b)
R_21	A_pC; A_SetD; DpEnv: S_23; ~DpEnv: S_22; CrdsE: E_0; ~CrdsE: E_EC.	b)	b)	b)	b)
R_3	S_30; 30E: E_0; ~30E: E_E30.	S_30; ~30E: E_E30.	b)	b)	b)
R_4	S_40; 40Env: E_i41; ~40Env: E_E40.	S_40; 40Env: E_i41; ~40Env: E_E40.	b)	b)	b)
R_40	b)	b)	b)	b)	b)
R_41	b)	b)	b)	b)	b)
R_42	b)	b)	b)	b)	b)
R_51	S_0; E_501.	S_0; E_501.	b)	b)	b)
R_501	b)	b)	b)	b)	b)
T_Acc	Acc: S_1; E_1;	b)	b)	b)	b)
T_Out	S_11(4).	S_11(4).	S_11(4).	S_11(4).	S_11(4).
T_Grps	S_10; 10E: E_0; ~10E: E_E10.	A_SetIG.	A_SetIG.	A_SetIG.	A_SetIG.
C_M	S_5; E_i50.	A_SetM.	A_SetM.	A_SetM.	A_SetM.

a) 10_w8 { S_10; 10E { E_0 }; ~10E { E_E10 } }
~10_w8 { 51_w8 { S_51; E_i501 }; ~51_w8{ DpPed { S_4; E_40 }; ~DpPed { 5_w8 { S_5; E_i50 }; ~5_w8 { S_0 } } } }

b) S_11(3); A_Close.

Tabela B-6 - Máquina de estados do servidor (2)

Estados X Entradas	E_E30	E_40	E_41	E_42	E_E40
R_0	a)	a)	a)	a)	a)
R_1	a)	a)	a)	a)	a)
R_11	NotOk4: S_last; NotOk1, NotOk3: A_Close.	NotOk4: S_last; NotOk1, NotOk3: A_Close.	NotOk4: S_last; NotOk1, NotOk3: A_Close.	NotOk4: S_last; NotOk1, NotOk3: A_Close.	NotOk4: S_last; NotOk1, NotOk3: A_Close.
R_100	S_30; 30E: E_0.	a)	a)	a)	S_40; 40Env: E_i41.
R_20	a)	a)	a)	a)	a)
R_21	a)	a)	a)	a)	a)
R_3	a)	a)	a)	a)	a)
R_4	a)	a)	a)	a)	a)
R_40	a)	a)	a)	S_11(3); A_Close.	a)
R_41	a)	a)	a)	S_11(3); A_Close.	a)
R_42	a)	a)	a)	A_pD; 42Rec: DRecOk: S_400; ~DRecOk: S_401; (~401E: E_E401; DpPed: E_40; ~DpPed: E_0;) ~42Rec: S_100.	a)
R_51	a)	a)	a)	a)	a)
R_501	a)	a)	a)	a)	a)
T_Acc	a)	a)	a)	a)	a)
T_Out	S_11(4).	S_11(4).	S_11(4).	S_11(4).	S_11(4).
T_Grps	A_SetIG.	A_SetIG.	A_SetIG.	A_SetIG.	A_SetIG.
C_M	A_SetM.	A_SetM.	A_SetM.	A_SetM.	A_SetM.

a) S_11(3); A_Close.

Tabela B-7 - Máquina de estados do servidor (3)

Estados X Entradas	E_i41	E_E41	E_E401	E_i50	E_E50	E_i500
R_0	S_41; 41Env: E_0; ~41Env: E_E41	a)	a)	S_50; MapaE: E_i500; ~MapaE: E_E50.	a)	S_500; 500Env: 501pE: E_i501; ~501pE: E_0; ~500Env: E_E500.
R_1	a)	a)	a)	a)	a)	a)
R_11	NotOk4: S_last; NotOk1, NotOk3: A_Close.	NotOk4: S_last; NotOk1, NotOk3: A_Close.	NotOk4: S_last; NotOk1, NotOk3: A_Close.	NotOk4: S_last; NotOk1, NotOk3: A_Close. NotOk5: a); S_0; E_0.	NotOk4: S_last; NotOk1, NotOk3: A_Close.	NotOk4: S_last; NotOk1, NotOk3: A_Close.
R_100	a)	S_41; 41Env: E_0.	S_401; 401E: E_0.	a)	S_50; MapaE: E_i500.	a)
R_20	a)	a)	a)	a)	a)	a)
R_21	a)	a)	a)	a)	a)	a)
R_3	a)	a)	a)	a)	a)	a)
R_4	a)	a)	a)	a)	a)	a)
R_40	a)	a)	a)	a)	a)	a)
R_41	a)	a)	a)	a)	a)	a)
R_42	a)	a)	a)	a)	a)	a)
R_51	a)	a)	a)	a)	a)	a)
R_501	a)	a)	a)	a)	a)	a)
T_Acc	a)	a)	a)	a)	a)	a)
T_Out	a)	S_11(4).	S_11(4).	S_11(4).	S_11(4).	S_11(4).
T_Grps	A_SetIG.	A_SetIG.	A_SetIG.	A_SetIG.	A_SetIG.	A_SetIG.
C_M	A_SetM.	A_SetM.	A_SetM.	A_SetM.	A_SetM.	A_SetM.

a) S_11(3); A_Close.

Tabela B-8 - Máquina de estados do servidor (4)

Estados X Entradas	E_E500	E_i501	E_E501	E_501
R_0	b)	S_501; 501E: E_0; ~501E: E_E501.	b)	b)
R_1	b)	b)	b)	b)
R_11	NotOk4: S_last; NotOk1, NotOk3: A_Close.	NotOk4: S_last; NotOk1, NotOk3: A_Close. NotOk5: a); S_0; E_0.	NotOk4: S_last; NotOk1, NotOk3: A_Close.	NotOk4: S_last; NotOk1, NotOk3: A_Close.
R_100	S_500; 500Env: 501pE: E_i501; ~501pE: E_0.	b)	S_501; 501E: E_0.	b)
R_20	b)	b)	b)	b)
R_21	b)	b)	b)	b)
R_3	b)	b)	b)	b)
R_4	b)	b)	b)	b)
R_40	b)	b)	b)	b)
R_41	b)	b)	b)	b)
R_42	b)	b)	b)	b)
R_51	b)	b)	b)	b)
R_501	b)	b)	b)	A_pIMEx; 501R: a); ~501R: S_100.
T_Acc	b)	b)	b)	b)
T_Out	S_11(4).	S_11(4).	S_11(4).	S_11(4).
T_Grps	A_SetIG.	A_SetIG.	A_SetIG.	A_SetIG.
C_M	A_SetM.	A_SetM.	A_SetM.	A_SetM.

a) 10_w8 { S_10; 10E { E_0 }; ~10E { E_E10 } }
~10_w8 { 51_w8 { S_51; E_i501 }; ~51_w8{ DpPed { S_4; E_40 }; ~DpPed { 5_w8 { S_5; E_i50 }; ~5_w8 { S_0 } } } }

b) S_11(3); A_Close.

Tabela B-9 - Máquina de estados dos clientes (1)

Estados X Entradas	IDLE	E_0	E_Acc	E_Res1
R_0	b)	OkEnv: IDLE; ~OkEnv: a); IDLE.	b)	b)
R_1	b)	b)	A_pID; S_1; E_Res1.	b)
R_10	A_pG; 10R: a); E_0; ~10R: S_100; E_10.	A_pG; 10R: a); E_0; ~10R: S_100; E_10.	b)	10R: DpEnv: S_21; ~DpEnv: S_20; E_CM; ~10R: S_100; E_fRes1.
R_11	NotOk4: S_last; NotOk1, NotOk3: A_Close.	NotOk4: S_last; NotOk1, NotOk3: A_Close.	NotOk4: S_last; NotOk1, NotOk3: A_Close.	NotOk4: S_last; NotOk1, NotOk3: A_Close.
R_100	b)	b)	b)	b)
R_22	b)	b)	b)	b)
R_23	b)	b)	b)	b)
R_30	b)	b)	b)	b)
R_4	S_40; 40Env: E_i41; ~40Env: E_E40.	S_40; 40Env: E_i41; ~40Env: E_E40.	S_11(3); A_Close.	S_11(3); A_Close.
R_40	b)	b)	b)	b)
R_41	b)	b)	b)	b)
R_400	b)	b)	b)	b)
R_401	b)	b)	b)	b)
R_5	S_0; E_50.	S_0; E_50.	b)	b)
R_50	b)	b)	b)	b)
R_51	S_0; E_501.	S_0; E_501.	b)	b)
R_500	b)	b)	b)	b)
R_501	b)	b)	b)	b)
T_Crds	DpEnv: S_21; ~DpEnv: S_20; E_CM.	A_SetCrd	A_SetCrd	A_SetCrd
T_Out	S_11(4).	S_11(4).	S_11(4).	S_11(4).
C_Liga	A_Conn; E_Acc.	b)	b)	b)

a) 20_w8 { DpEnv { S_21 } ~DpEnv { S_20; E_CM }
~20_w8 { 3_w8 { S_3; E_30 } ~3_w8 { DpPed: S_4; E_40 } ~DpPed { 51_w8 { S_51; E_i501 } ~51_w8 { S_0 }

b) S_11(3); A_Close.

Tabela B-10 - Máquina de estados dos clientes (2)

Estados X Entradas	E_fRes1	E_10	E_CM	E_30
R_0	b)	b)	b)	b)
R_1	b)	b)	b)	b)
R_10	10R: DpEnv: S_21; ~DpEnv: S_20; E_CM; ~10R: S_100.	10R: a); E_0; ~10R: S_100.	b)	b)
R_11	b)	NotOk4: S_last; NotOk1, NotOk3: A_Close.	NotOk4: S_last; NotOk1, NotOk3: A_Close.	NotOk4: S_last; NotOk1, NotOk3: A_Close.
R_100	b)	b)	b)	b)
R_22	b)	b)	A_pCM; CrdsR: a); E_0; ~CrdsR: S_100.	b)
R_23	b)	b)	A_pCM; A_SetIDs; CrdsR: a); E_0; ~CrdsR: S_100.	b)
R_30	b)	b)	b)	A_pIDs; 30R: b); E_0; DpPed: A_SetD; ~30R: S_100.
R_4	b)	b)	b)	b)
R_40	b)	b)	b)	b)
R_41	b)	b)	b)	b)
R_400	b)	b)	b)	b)
R_401	b)	b)	b)	b)
R_5	b)	b)	b)	b)
R_50	b)	b)	b)	b)
R_51	b)	b)	b)	b)
R_500	b)	b)	b)	b)
R_501	b)	b)	b)	b)
T_Crds	A_SetCrd	A_SetCrd	A_SetCrd	A_SetCrd
T_Out	S_11(4).	S_11(4).	S_11(4).	S_11(4).
C_Liga	b)	b)	b)	b)

a) 20_w8 { DpEnv { S_21 } ~DpEnv { S_20; E_CM }
~20_w8 { 3_w8 { S_3; E_30 } ~3_w8 { DpPed: S_4; E_40 } ~DpPed { 51_w8 { S_51; E_i501 } ~51_w8 { S_0 }

b) S_11(3); A_Close;

Tabela B-11 - Máquina de estados dos clientes (3)

Estados X Entradas	E_40	E_41	E_ResD
R_0	b)	b)	b)
R_1	b)	b)	b)
R_10	b)	b)	b)
R_11	NotOk4: S_last; NotOk1, NotOk3: A_Close.	NotOk4: S_last; NotOk1, NotOk3: A_Close.	NotOk4: S_last; NotOk1, NotOk3: A_Close.
R_100	b)	b)	b)
R_22	b)	b)	b)
R_23	b)	b)	b)
R_30	b)	b)	b)
R_4	b)	b)	b)
R_40	A_pD; 40Rec: S_0; E_41; ~40Rec: S_100.	b)	b)
R_41	b)	A_pD; 41Rec: a); E_0; ~41Rec: S_100.	b)
R_400	b)	b)	OutroD: S_40; 40Env: E_i41; ~40Env: E_E40; ~OutroD: a); E_0.
R_401	b)	b)	401R: OutroD: S_40; 40Env: E_i41; ~40Env: E_E40; ~OutroD: a); E_0; ~401R: S_100;
R_5	b)	b)	b)
R_50	b)	b)	b)
R_51	b)	b)	b)
R_500	b)	b)	b)
R_501	b)	b)	b)
T_Crds	A_SetCrd	A_SetCrd	A_SetCrd
T_Out	S_11(4).	S_11(4).	S_11(4).
C_Liga	b)	b)	b)

a) 20_w8 { DpEnv { S_21 } ~DpEnv { S_20; E_CM }
~20_w8 { 3_w8 { S_3; E_30 } ~3_w8 { DpPed: S_4; E_40 } ~DpPed { 51_w8 { S_51; E_i501 } ~51_w8 { S_0 }

b) S_11(3); A_Close.

Tabela B-12 - Máquina de estados dos clientes (4)

Estados X Entradas	E_E40	E_i41	E_E41	E_i42	E_E42	E_50
R_0	a)	S_41; 41Env: E_i42; ~41Env: E_E41.	a)	S_42; 42Env: E_0; ~42Env: E_E42.	a)	a)
R_1	a)	a)	a)	a)	a)	a)
R_10	a)	a)	a)	a)	a)	a)
R_11	NotOk4: S_last; NotOk1, NotOk3: A_Close.	NotOk4: S_last; NotOk1, NotOk3: A_Close.	NotOk4: S_last; NotOk1, NotOk3: A_Close.	NotOk4: S_last; NotOk1, NotOk3: A_Close.	NotOk4: S_last; NotOk1, NotOk3: A_Close.	NotOk4: S_last; NotOk1, NotOk3: A_Close.
R_100	S_40; 40Env: E_i41.	a)	S_41; 41Env: E_i42.	a)	S_42; 42Env: E_0.	a)
R_22	a)	a)	a)	a)	a)	a)
R_23	a)	a)	a)	a)	a)	a)
R_30	a)	a)	a)	a)	a)	a)
R_4	a)	a)	a)	a)	a)	a)
R_40	a)	a)	a)	a)	a)	a)
R_41	a)	a)	a)	a)	a)	a)
R_400	a)	a)	a)	a)	a)	a)
R_401	a)	a)	a)	a)	a)	a)
R_5	a)	a)	a)	a)	a)	a)
R_50	a)	a)	a)	a)	a)	A_pM; MapaR: S_0; E_500; ~MapaR: S_100;
R_51	a)	a)	a)	a)	a)	a)
R_500	a)	a)	a)	a)	a)	a)
R_501	a)	a)	a)	a)	a)	a)
T_Crds	A_SetCrd	A_SetCrd	A_SetCrd	A_SetCrd	A_SetCrd	A_SetCrd
T_Out	S_11(4).	S_11(4).	S_11(4).	S_11(4).	S_11(4).	S_11(4).
C_Liga	a)	a)	a)	a)	a)	a)

a) S_11(3); A_Close.

Tabela B-13 - Máquina de estados dos clientes (5)

Estados X Entradas	E_500	E_501	E_i501	E_E501
R_0	b)	b)	S_501; 501E: E_0; ~501E: E_E501.	b)
R_1	b)	b)	b)	b)
R_10	b)	b)	b)	b)
R_11	NotOk4: S_last; NotOk1, NotOk3: A_Close.	NotOk4: S_last; NotOk1, NotOk3: A_Close.	NotOk4: S_last; NotOk1, NotOk3: A_Close; NotOk5: a); S_0; E_0.	NotOk4: S_last; NotOk1, NotOk3: A_Close.
R_100	b)	b)	b)	S_501; 501E: E_0.
R_22	b)	b)	b)	b)
R_23	b)	b)	b)	b)
R_30	b)	b)	b)	b)
R_4	b)	b)	b)	b)
R_40	b)	b)	b)	b)
R_41	b)	b)	b)	b)
R_400	b)	b)	b)	b)
R_401	b)	b)	b)	b)
R_5	b)	b)	b)	b)
R_50	b)	b)	b)	b)
R_51	b)	b)	b)	b)
R_500	A_pIM; 500Rec: 501pR: S_0; E_501; ~501pR: a); E_0; ~500Rec: S_100.	b)	b)	b)
R_501	b)	A_pIMEx; 501R: a); E_0; ~501R: S_100.	b)	b)
T_Crds	A_SetCrd	A_SetCrd	A_SetCrd	A_SetCrd
T_Out	S_11(4).	S_11(4).	S_11(4).	S_11(4).
C_Liga	b)	b)	b)	b)

a) 20_w8 { DpEnv { S_21 } ~DpEnv { S_20; E_CM }
~20_w8 { 3_w8 { S_3; E_30 } ~3_w8 { DpPed: S_4; E_40 } ~DpPed { 51_w8 { S_51; E_i501 } ~51_w8 { S_0 }

b) S_11(3); A_Close.

B.5 - Diagramas Temporais

De seguida apresentam-se diagramas temporais para todas as sequências de comunicação presentes no protocolo. Para cada sequência há determinados passos que podem ocorrer várias vezes (quando é necessária a utilização da mensagem tipo *Waiting*) e são possíveis as ocorrências de certos erros respondidos com mensagens do tipo NotOk (5).

B.5.1 - Sequência de Inicialização

Sequência que ocorre depois do servidor fazer *accept* a um pedido prévio de *connect* de um cliente. Em vez da mensagem *InfoGrupos*, o servidor poderá responder com uma mensagem *NotOk* se o cliente não tiver autorizado a ligar-se ou se já se encontra ligado.
Esta sequência está ilustrada na Figura B.2.

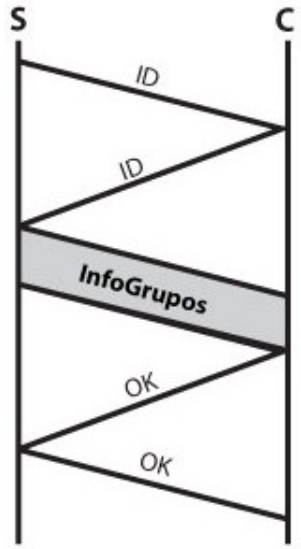


Figura B.2 - Inicialização da comunicação S-C.

B.5.2 - Transmissão do nome dos grupos existentes na base de dados

Através de um comando específico ou *timer,* o servidor pode enviar, ao cliente, um *update* dos grupos existentes na base de dados.
Esta transmissão pode ser observada na Figura B.3.

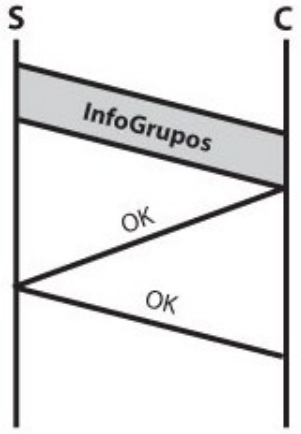


Figura B.3 - Sequência de envio dos nomes dos grupos.

B.5.3 - Transmissão de coordenadas

Sequência iniciada pelo cliente, normalmente após este receber aviso de um *timer*. O cliente começa por enviar as suas coordenadas para o servidor e recebe as de todos os outros clientes que pertencem à mesma operação. São estas mensagens que avisam o cliente ou servidor acerca de novos esquemas existentes no outro.
A sequência está presente na Figura B.4.

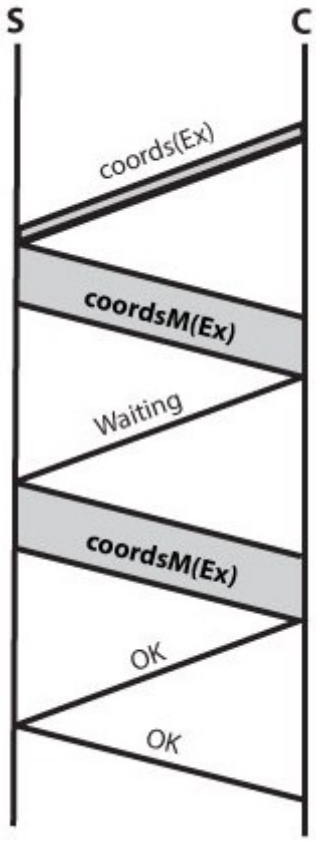


Figura B.4 - Sequência de troca de coordenadas.

B.5.4 - Transmissão dos IDs dos esquemas

Quando um cliente recebe uma mensagem *CoordsMEx* do servidor, fica a saber que este tem pelo menos um esquema novo para si. Então, pede os IDs de todos os esquemas existentes no servidor, disponíveis para o seu grupo de utilizadores.
A sequência da Figura B.5 ilustra este pedido de IDs.

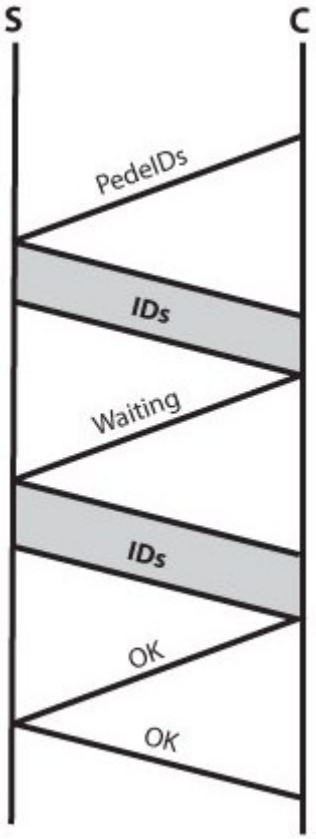


Figura B.5 - Pedido de IDs dos esquemas.

B.5.5 - Transmissão de esquemas

Um pedido de esquema ocorre quando o servidor recebe uma mensagem *CoordsEx* ou o cliente detecta que há esquemas novos no servidor depois de receber os IDs dos esquemas.
A Figura B.6 demonstra a sequência de transmissão de um esquema do servidor para o cliente e a Figura B.7 de um esquema do cliente para o servidor. A diferença está na terceira parte, a mensagem *DestE*, a qual o servidor não precisa de enviar para o cliente. O número de mensagens necessárias para enviar cada parte não é fixo, dependendo do seu número de *bytes*.

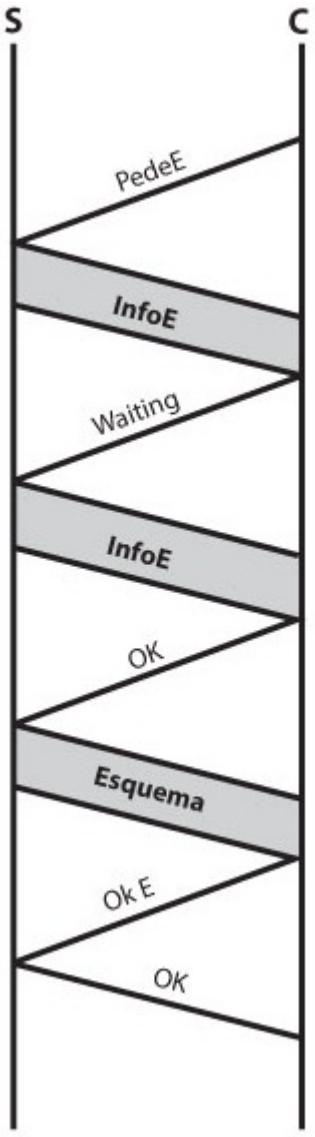


Figura B.6 - Sequência de transmissão de um esquema (S->C).

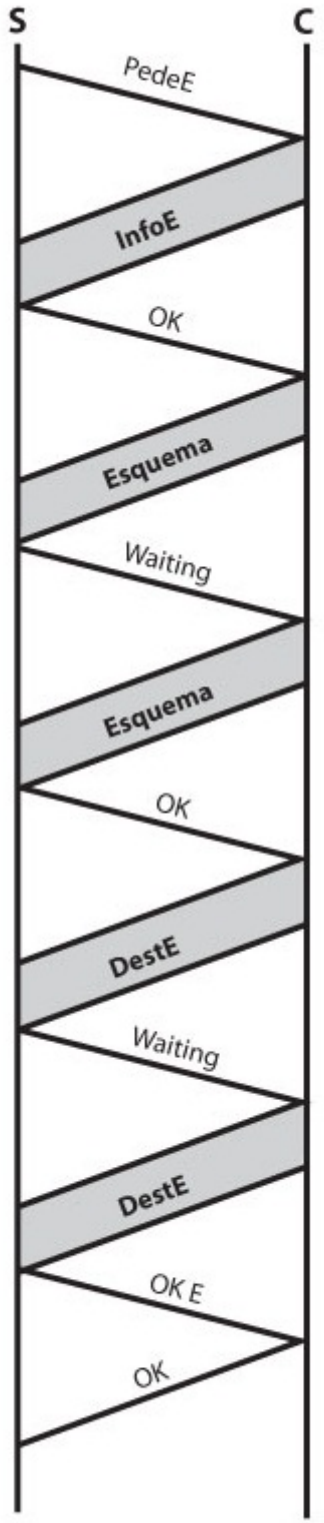


Figura B.7 - Sequência de transmissão de um esquema (C->S).

B.5.6 - Transmissão de mapas

O servidor pode enviar novos mapas para os clientes. Começa por enviar o nome do mapa, depois os seus *bytes* e no fim toda a informação adicional que houver. Se existirem coordenadas extra de referenciação, estas são enviadas por último. A mensagem *PrepMapa* poderá ser respondida com uma mensagem *NotOk* se o cliente já tiver o mapa.
Esta troca de informação está presente na Figura B.8.

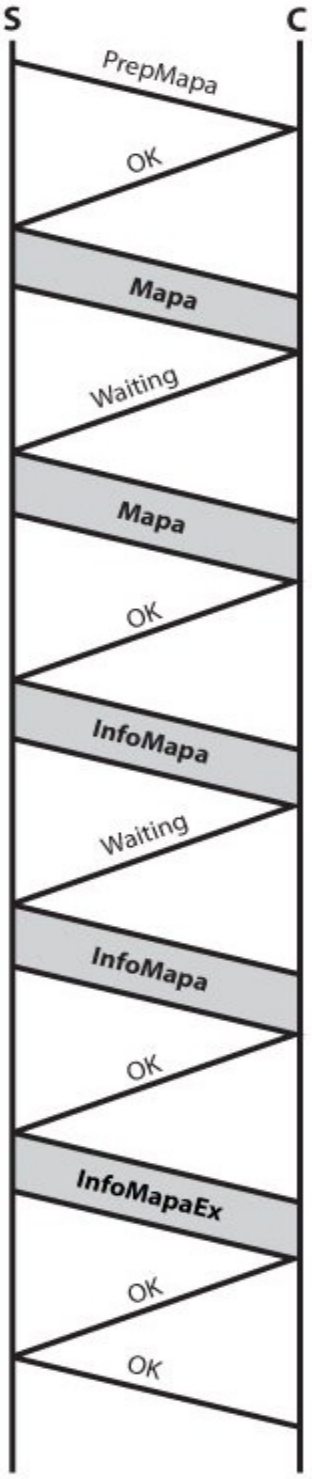


Figura B.8 - Sequência de transmissão de um mapa.

B.5.7 - Transmissão de Coordenadas extra de Georreferenciação

Um utilizador autorizado ou o servidor podem enviar para os outros utilizadores coordenadas de georreferenciação que tenham marcado, através da sequência presente na Figura B.9. A mensagem *PrepIMEx* poderá ser respondida com uma mensagem *NotOk* se algum cliente não tiver o mapa.

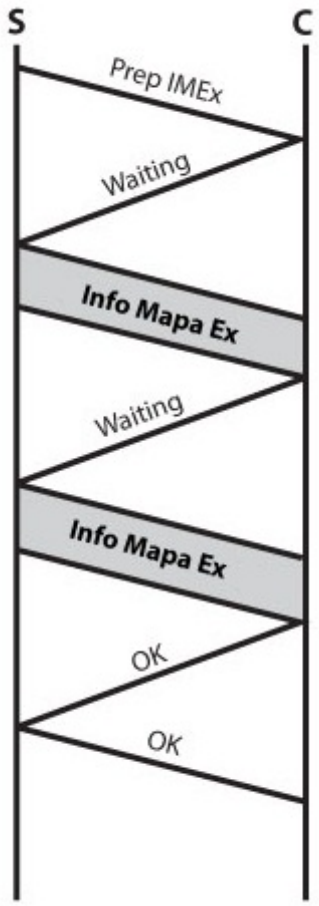


Figura B.9 - Sequência de transmissão de coordenadas de georreferenciação extra.

Anexo C - Ficheiros de leitura de dados

C.1 - Introdução

As aplicações Cliente e Servidor utilizam diversos ficheiros de conFiguração e de armazenamento de dados. O primeiro ficheiro aberto pela aplicação, é sempre o ficheiro *Config.txt*. Seguidamente, se a aplicação for Cliente, vai abrir o ficheiro *Config_GPS.txt* e se for Servidor, o ficheiro *Config_SQL.txt*. Em ambos os casos os ficheiros *InfoMapas.txt*, *Esquemas.txt* e *DestEsq.txt* também são abertos para retirar os dados acerca dos mapas e esquemas.
De seguida, apresenta-se o formato de todos estes ficheiros e o seu significado.

C.2 - Config.txt

Este ficheiro tem como finalidade conFigurar os aspectos mais gerais do Servidor e do Cliente. Seguidamente, apresenta-se um exemplo para o ficheiro, caso se trate da aplicação Cliente:

```
//////////////////////////////////////////////////////////////
// Ficheiro de ConFiguraçao do utilizador //
//////////////////////////////////////////////////////////////
//ID do utilizador:
1234CCOM001
//Uso de 2 Receptores para direcção? ( S / N )
N
//Server name:
TIAGO-PC
//Server port:
6000
//FIM DE FICHEIRO//
```

O "*ID do utilizador"* indica qual o nome do Cliente e deve ser um *ID* presente na base de dados do Servidor ou o Cliente não se poderá ligar ao mesmo. A opção "*Uso de 2 Receptores para a direcção?"* indica se a aplicação vai tentar ler a posição de dois receptores, para mostrar a direcção do utilizador, ou apenas um. O "*Server name"* indica qual o endereço do Servidor para o qual o Cliente se pode ligar e o "*Server port"* indica qual o porto a que o Cliente se deve ligar para criar uma ligação com o Servidor.
A seguir apresenta-se um outro exemplo para o ficheiro, para o caso do Servidor:

```
//////////////////////////////////////////////////////////////
// Ficheiro de ConFiguraçao do utilizador //
//////////////////////////////////////////////////////////////
//Server port:
6000
//Endereço http para a pasta dos ficheiros KML
192.168.2.1
//Caminho para a pasta dos ficheiros KML
C:\Teste
//FIM DE FICHEIRO//
```

Este ficheiro contém o "*Server port"* para que o Servidor saiba qual o porto em que deve esperar pelos pedidos de ligação dos clientes, o "Endereço *http* para a pasta dos ficheiros KML", para que o Servidor o coloque nos *Network Links* e no ficheiro de actualizações e o "Caminho para a pasta dos ficheiros KML", para que o Servidor saiba onde guardar os ficheiros KML de dados.

C.3 - Config_GPS.txt

Este ficheiro é aberto pelo Cliente para retirar as definições dos receptores GPS a que se deve ligar. Apresenta-se a seguir um exemplo deste ficheiro:

```
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
// Ficheiro de ConFiguraçao do(s) Receptor(es) GPS//
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
///// RECEPTOR #1 /////
//Porta COM:
19
//Baud Rate:
115200
//Byte Size:
8
//Paridade (Even / Mark / No parity / Odd / Space ):
No parity
//Stop Bits ( 1 / 1.5 / 2 ):
1
//Flow Control ( S / N ):
N
///// RECEPTOR #2 /////
//Porta COM:
29
//Baud Rate:
38400
//Byte Size:
8
//Paridade (Even / Mark / No parity / Odd / Space ):
No parity
//Stop Bits ( 1 / 1.5 / 2 ):
1
//Flow Control ( S / N ):
N
//FIM DE FICHEIRO//
```

Este ficheiro pode ter dados de um ou de dois receptores, dependendo da opção escolhida no ficheiro *Config.txt*. Todos os parâmetros utilizados na conFiguração dos receptores estão presentes, nomeadamente:

- Porta COM – Número de identificação da porta COM utilizada para comunicar com o receptor;
- *Baud Rate* – Velocidade de transmissão de dados;
- *Byte Size* – Número de *bits* por *byte* transmitido;
- *Parity* – Esquema de paridade utilizado para detecção de erros;
- *Stop Bits* – Número de *bits* enviados para marcar o final de cada caracter transmitido;
- *Flow Control* – Existência de controlo do envio e recepção da informação.

É possível ter dois receptores definidos e utilizar apenas o primeiro mas, se a opção de mostrar a direcção de movimentação ao utilizador for seleccionada, é necessário ter as definições de ambos. Na aplicação Cliente é possível alterar estas definições, conforme necessário.

C.4 - Config_SQL.txt

Este ficheiro é aberto pelo Servidor para retirar os parâmetros necessários à ligação com a base de dados. A seguir apresenta-se um exemplo do ficheiro:

```
//////////////////////////////////////////////////////////////////
// Dados para ligar ao servidor MS SQL Server //
//////////////////////////////////////////////////////////////////
url do servidor:
TIAGO-PC\SQLEXPRESS
Segurança integrada com Windows:
S
Nome do Uitlizador:
Tiago-pc\Tiago
Password:

// FIM //
```

Dependendo do tipo de segurança escolhida, pode haver necessidade de utilizar *password* no acesso à base de dados. Todos os passos e testes do projecto foram realizados fazendo uso da segurança integrada com o *Windows*.

C.5 - InfoMapas.txt

Este ficheiro contém todos os dados referentes aos mapas utilizados pela aplicação. Em seguida, apresenta-se um exemplo do ficheiro:

```
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
// FICHEIRO DE INFORMAÇAO RELATIVAMENTE AOS MAPAS E SUAS COORDENADAS //
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
///    Primeiros 2 pares de coordenadas em cada mapa sao para os    ///
///                cantos e sao indispensaveis                      ///
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
mapa 1.jpg
38.8086861100N9.3115027780W
38.7004972200N9.0772361110W
/
ist.jpg /instituto superior tecnico
38.7382944400N9.1408888890W
38.7351972200N9.1358305560W
38.7360111111N9.1384361111W /central
16668.00_6801.00
38.7367361111N9.1393750000W /torre quimica
9937.00_13304.00
/
```

Como se pode observar pelo exemplo, cada mapa é definido pelo seu nome, uma nota, se existir, coordenadas do canto superior esquerdo, coordenadas do canto inferior direito e coordenadas extra de georreferenciação, se existirem, compostas pelas coordenadas geográficas e a sua localização no mapa em questão. Todas as coordenadas estão na forma graus e orientação estando primeiro a latitude e depois a longitude. Todos os conjuntos de coordenadas podem ter notas associadas, com excepção dos primeiros dois conjuntos que são obrigatórios e têm uma localização conhecida no mapa.

C.6 - Esquemas.txt

Este ficheiro tem todos os dados acerca dos esquemas utilizados pela aplicação. Em seguida é apresentado um exemplo:

```
//////////////////////////////////////////
// FICHEIRO DE ARMAZENAMENTO DOS ESQUEMAS //
//////////////////////////////////////////
Nº DE ESQUEMAS: 2
ID: 1
Nota: teste 1
Data de criação: 27-10-2010 16h57
RGB: 26 2 89
Coordenadas (9):
38.7858886281N 9.2081019793W 0
38.7854418868N 9.2086484562W 1
38.7730334193N 9.2229243978W 1
38.7620836989N 9.2348179458W 1
38.7678958944N 9.1475167251W 1
38.7684520417N 9.1471544539W 1
38.7686754123N 9.1488000248W 1
38.7768352789N 9.1832096493W 1
38.7832036217N 9.2059037913W 1
FIM DE ESQUEMA
ID: 0
Nota: teste 2
Data de criação: 27-10-2010 16h57
RGB: 187 21 205
Coordenadas (19):
38.7279946027N 9.2373845452W 0
38.7267637849N 9.2355547686W 1
38.7216217014N 9.2150526743W 1
38.7183805477N 9.1897980731W 1
38.7192740303N 9.1875998851W 1
38.7248628551N 9.1749695144W 1
38.7334694629N 9.2295128217W 1
38.7373807286N 9.2333565806W 1
38.7386115464N 9.2403134158W 1
38.7390582877N 9.2496465045W 1
38.7386115464N 9.2514762811W 1
38.7357077280N 9.2501929814W 1
38.7320152744N 9.2489096817W 1
38.7303422738N 9.2522069637W 1
38.7254235610N 9.2597102758W 1
38.7217356660N 9.2701424585W 1
38.7210655540N 9.2677662050W 1
38.7187178829N 9.2573340223W 1
38.7172636944N 9.2490938874W 1
FIM DE ESQUEMA
```

Como se pode observar no exemplo dado, cada desenho é composto por várias propriedades:

- ID – *ID* interno do desenho. Este *ID* só é atribuído quando o cliente envia o desenho com sucesso para o servidor. Até isso acontecer, o *ID* tem valor 0;

- Nota – Informação adicional sobre o esquema;
- Data de criação – a fim de ser mais facilmente identificado;
- RGB – Informação acerca das cores do esquema. Até ao momento é a única forma de alterar as cores com que o esquema é apresentado pela aplicação;
- Número de coordenadas – para a aplicação saber quantas linhas de coordenadas tem que ler;
- Pontos do esquema – Coordenadas de cada ponto e informação se se trata do início de um novo segmento. As coordenadas estão na forma graus e orientação, encontrando-se primeiro a latitude e depois a longitude, separadas por um espaço. A informação acerca de novo segmento também está separada das coordenadas do ponto por um espaço e assume o valor "0" se for início de um segmento ou "1", caso contrário.

C.7 - DestEsq.txt

Este ficheiro tem informação acerca dos destinatários dos esquemas. Se a aplicação for Cliente, mantém os destinatários até o esquema ser enviado com sucesso para o servidor. Se for Servidor, este ficheiro tem os destinatários de todos os esquemas armazenados. Segue-se um exemplo deste ficheiro para o Servidor.

```
//////////////////////////////////////////////////////////////////////////
// FICHEIRO DE ARMAZENAMENTO DOS DESTINATARIOS DOS ESQUEMAS //
//////////////////////////////////////////////////////////////////////////
ID: 1
teste 1
27-10-2010 17h10
RGB: 25 88 152
Destinatários:
Comando 1
Comando 2
FIM DE ESQUEMA
ID: 2
teste 2
27-10-2010 17h11
RGB: 106 32 73
Destinatários:
Apoio 1
Comando 1
Operacionais 1
FIM DE ESQUEMA
```

Como se pode observar, tal como no ficheiro *Esquemas.txt*, cada desenho é caracterizado pelo seu *ID*, nota e data de criação. No caso da aplicação Servidor, os destinatários são armazenados de forma permanente. No caso de ser Cliente, este ficheiro encontra-se vazio, a menos que o cliente ainda não tenha tido oportunidade de enviar os esquemas para o servidor.

Anexo D - Consultas (*Queries*) SQL utilizadas

D.1 - Introdução

Tal como explicado em 3.5.3, existem duas tabelas no servidor SQL:

- Utilizadores – Com informação como *ID*, tipo, operação, grupo e se está autorizado a ligar-se ao servidor;
- Grupos – Com infomação acerca dos grupos e suas permissões.

As tabelas são acedidas pelo servidor sempre que este necessite de retirar algum tipo de informação das mesmas e sempre através de *queries*. Neste anexo serão mostradas todas as *queries* utilizadas pelo servidor. Os elementos utilizados nestas *queries* são explicados na secção 2.4.3 da presente dissertação.

D.2 - Consulta de utilizadores

Quando a aplicação é iniciada, o servidor consulta a base de dados (BD) para retirar o *ID* e o tipo de todos os utilizadores da rede. Esta consulta é feita da seguinte forma:

```
SELECT DISTINCT [ID do Utilizador], [Tipo]
FROM [Bombeiros].[dbo].[Utilizadores]
```

Esta *querie* retorna um par de resultados para cada utilizador que são o seu *ID* seguido do tipo.

D.3 - Consulta de grupos

No início da aplicação e depois com base num intervalo de tempo, o servidor acede à BD para retirar os nomes dos grupos existentes para os enviar para os clientes. A consulta feita é a seguinte:

```
SELECT DISTINCT [Nome do Grupo]
FROM [Bombeiros].[dbo].[GRUPOS]
```

D.4 - Autorização para ligação

Sempre que algum utilizador comunica com o servidor, este utiliza a seguinte *querie* para garantir que ele se pode ligar à rede:

```
SELECT DISTINCT [Autorizado]
FROM [Bombeiros].[dbo].[Utilizadores]
WHERE [ID do Utilizador] = 'ID do utilizador'
```

Esta *querie* retorna “S” se o cliente estiver autorizado a ligar-se à rede ou “N” caso se verifique o contrário.

D.5 - Consulta de grupos a que o utilizador pertence

Durante a sequência de inicialização e sempre que um cliente recebe indicação de que o servidor pode ter esquemas novos para si, este envia um pedido de *IDs* de esquemas para o servidor. Quando o servidor recebe este pedido, liga-se à BD para retirar o nome do(s) grupo(s) a que o cliente pertence. A *querie* executada no servidor é a seguinte:

```
SELECT Grupos.[Nome do Grupo]
FROM Bombeiros.dbo.Grupos LEFT JOIN Bombeiros.dbo.Utilizadores
ON Grupos.[ID Grupo] = Utilizadores.Grupo
WHERE Utilizadores.[ID do Utilizador] = 'ID do utilizador'
```

Depois de receber todos os nomes de grupos, o servidor compara-os com os destinatários de cada esquema para saber se o grupo deve recebê-lo.

D.6 - Utilizadores da rede na mesma operação que o utilizador da aplicação

Cada vez que um cliente envia as suas coordenadas para o servidor, este liga-se à BD para consultar quais os utilizadores da rede que pertencem à mesma operação que o cliente. A consulta é feita através de:

```
SELECT DISTINCT [ID do Utilizador]
FROM Bombeiros.dbo.Utilizadores
WHERE Bombeiros.dbo.Utilizadores.Operação = (
      SELECT DISTINCT Operação
            FROM Bombeiros.dbo.Utilizadores
            WHERE [ID do Utilizador] = 'ID do utilizador' )
AND   Bombeiros.dbo.Utilizadores.[ID   do   Utilizador]   !=   'ID   do
utilizador'
```

Deste modo, todos os *IDs* de utilizadores pertencentes à mesma operação que o cliente com excepção do *ID* do mesmo, são retornados, para que o servidor saiba quais as coordenadas a enviar ao cliente.

D.7 - Grupos de maior hierarquia a que o utilizador pertence

No final da recepção de um esquema, o servidor necessita validar os destinatários escolhidos pelo cliente. Para isso ele necessita de três consultas à BD. A primeira dessas *queries* tem como objectivo descobrir todos os grupos para os quais o cliente pode enviar esquemas. Esta consulta é feita do seguinte modo:

```
SELECT DISTINCT Grupos.[Nome do Grupo]
FROM Bombeiros.dbo.Grupos
LEFT JOIN Bombeiros.dbo.Utilizadores
ON Grupos.[ID Grupo] = Utilizadores.Grupo
WHERE Utilizadores.[ID do Utilizador] = 'ID do utilizador'
AND Grupos.Hierarquia = (
      SELECT MIN( Grupos.Hierarquia )
      FROM Bombeiros.dbo.Grupos
      LEFT JOIN Bombeiros.dbo.Utilizadores
      ON Grupos.[ID Grupo] = Utilizadores.Grupo
      WHERE Utilizadores.[ID do Utilizador] = 'ID do utilizador' )
```

Nesta querie procura(m)-se o(s) grupo(s) com o menor valor de hierarquia, ou seja, os grupos mais importantes, a que o cliente pertence.

D.8 - Grupos para onde o utilizador pode enviar esquemas

Depois de saber qual ou quais os grupos com maior hierarquia a que o cliente pertence, o servidor consulta de novo a BD a fim de conhecer quais os grupos que podem servir de receptores para os esquemas deste. Essa consulta é a seguinte:

```
DECLARE @i int;
SET @i = (  SELECT DISTINCT Grupos.Hierarquia
            FROM Bombeiros.dbo.Grupos
            WHERE Grupos.[Nome do Grupo] = 'Nome do grupo')

SELECT DISTINCT Grupos.[Nome do Grupo]
FROM Bombeiros.dbo.Grupos
WHERE Grupos.Hierarquia > @i
AND ( SELECT DISTINCT Grupos.[Mandar baixo]
```

```
      FROM Bombeiros.dbo.Grupos
      WHERE Grupos.[Nome do Grupo] = 'Nome do grupo') = 'S'
UNION
SELECT DISTINCT Grupos.[Nome do Grupo]
FROM Bombeiros.dbo.Grupos
WHERE Grupos.Hierarquia = @i
AND(  SELECT Grupos.[Mandar mesmo]
      FROM Bombeiros.dbo.Grupos
      WHERE Grupos.[Nome do Grupo] = 'Nome do grupo') = 'S'
UNION
SELECT DISTINCT Grupos.[Nome do Grupo]
FROM Bombeiros.dbo.Grupos
WHERE Grupos.Hierarquia < @i
AND(  SELECT Grupos.[Mandar cima]
      FROM Bombeiros.dbo.Grupos
      WHERE Grupos.[Nome do Grupo] = 'Nome do grupo') = 'S'
```

Desta forma obtém-se o resultado de três *queries* num conjunto: os grupos de hierarquia inferior ao do grupo do cliente, se este puder enviar-lhes esquemas, os grupos de hierarquia igual se o cliente estiver autorizado a enviar-lhes esquemas e os grupos de hierarquia superior, se o cliente tiver permissão para lhes enviar esquemas. As permissões vêm na forma de "S" ou "N", caso o utilizador tenha permissão ou não, respectivamente.

D.9 - Utilizadores de um grupo

Sabendo os grupos para os quais o cliente pode enviar esquemas e quais os grupos que ele escolheu como destinatários, o servidor consulta a BD para retirar o ID dos utilizadores pertencentes a esses grupos, que de seguida serão informados que o servidor tem esquemas novos. A *querie* feita pelo servidor à BD é a seguinte:

```
SELECT Utilizadores.[ID do Utilizador]
FROM Bombeiros.dbo.Utilizadores
LEFT JOIN Bombeiros.dbo.Grupos
ON Utilizadores.Grupo = Grupos.[ID Grupo]
WHERE Grupos.[Nome do Grupo] = 'Nome do grupo'
```

D.10 - Permissão para enviar coordenadas extra de georreferenciação

Sempre que um cliente pretende enviar coordenadas de georreferenciação extra para o servidor, este começa por ver se ele tem permissão para o fazer. A consulta feita pelo servidor à BD é a seguinte:

```
SELECT DISTINCT Grupos.[Coords Georref]
FROM Bombeiros.dbo.Utilizadores
LEFT JOIN Bombeiros.dbo.Grupos
ON Utilizadores.Grupo = Grupos.[ID Grupo]
WHERE Utilizadores.[ID do Utilizador] = 'ID do utilizador'
```

Tal como nos casos anteriores de consulta de permissões, o retorno da *querie* é "S" se o utilizador tiver permissão para enviar as coordenadas de georreferenciação extra ou "N", caso contrário.

Anexo E - Ficheiros KML utilizados

E.1 - Introdução

Tal como discutido na secção 2.5.3, para uma actualização periódica eficaz são necessários quatro ficheiros KML:

1. Ficheiro inicial
2. *Network Link* para o ficheiro inicial
3. Ficheiro de actualizações
4. *Network Link* para o ficheiro de actualizações

Os *Network Links* e o ficheiro inicial são criados na inicialização da aplicação. O ficheiro inicial contém os esquemas que esta tem guardados em *Esquemas.txt*. O ficheiro de actualizações também é criado na inicialização da aplicação mas encontra-se vazio, sendo depois actualizado uma vez por minuto.

E.2 - Ficheiro Inicial

Este ficheiro é guardado como um documento normal de KML. Nele são colocados os esquemas que o servidor carrega para a memória no momento da sua inicialização. De seguida, apresenta-se um exemplo deste ficheiro:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<kml xmlns="http://www.opengis.net/kml/2.2"
xmlns:gx="http://www.google.com/kml/ext/2.2"
xmlns:kml="http://www.opengis.net/kml/2.2"
xmlns:atom="http://www.w3.org/2005/Atom">
<Document>
<name>GEarth_Init.kml</name>
<Style id="1">
<LineStyle>
<color>ff0000aa</color>
<width>2.5</width>
</LineStyle></Style>
<Placemark>
<name>Edificios (1)</name>
<description>ID: 1 - Segmento 1
04-11-2010 09h29</description>
<styleUrl>#1</styleUrl>
<LineString>
<coordinates>
-9.13869,38.7378  -9.13874,38.7378  -9.13896,38.7377  -9.13902,38.7377  -
9.13899,38.7374  -9.13878,38.7373  -9.13867,38.7373  -9.13851,38.7373  -
9.13845,38.7373  -9.13839,38.7374  -9.13835,38.7374  -9.13834,38.7375  -
9.13833,38.7376  -9.13835,38.7376  -9.13838,38.7376  -9.13841,38.7377  -
9.13847,38.7377  -9.13854,38.7377  -9.13862,38.7378  -9.13868,38.7378  -
9.13872,38.7378
</coordinates>
</LineString>
</Placemark>
<Placemark>
<name>Edificios (2)</name>
<description>1- Segmento 2
04-11-2010 09h29</description>
<styleUrl>#1</styleUrl>
<LineString>
<coordinates>
```

```
-9.13849,38.7362  -9.13867,38.7362  -9.13877,38.7361  -9.1388,38.7361  -
9.1388,38.736   -9.1388,38.7359   -9.13872,38.7359   -9.13864,38.7358   -
9.13854,38.7358  -9.13834,38.7358  -9.13814,38.7358  -9.13803,38.7358  -
9.13794,38.7358   -9.13791,38.7359   -9.13792,38.736   -9.1381,38.7361   -
9.13828,38.7362 -9.13837,38.7362 -9.13844,38.7362 -9.13851,38.7362
</coordinates>
</LineString>
</Placemark>
<Placemark>
<name>subida (1)</name>
<description>ID: 2 - Segmento 1
04-11-2010 09h29</description>
<styleUrl>#1</styleUrl>
<LineString>
<coordinates>
-9.13711,38.7369  -9.13729,38.7368  -9.13753,38.7368  -9.13778,38.7368  -
9.13807,38.7368  -9.13822,38.7368  -9.13835,38.7368  -9.13824,38.7369  -
9.13819,38.7369  -9.13818,38.7369  -9.13818,38.7369  -9.13836,38.7369  -
9.13853,38.7368  -9.13856,38.7368  -9.13856,38.7368  -9.13843,38.7367  -
9.1383,38.7367 -9.13819,38.7366 -9.13816,38.7366</coordinates>
</LineString>
</Placemark>
</Document>
</kml>
```

Como se pode observar, o ficheiro parece ter três esquemas mas através das suas descrições pode ver-se que dois deles têm o mesmo *ID*, o que indica que são dois segmentos do mesmo esquema. Uma vez que o *Google Earth* liga todos os pontos de uma linha, não é possível separar segmentos como na aplicação Cliente. Para contornar este problema, criam-se tantas linhas quanto o número de segmentos no esquema mas todos com o mesmo ID e indicação de qual o segmento que representam. Todos os esquemas são desenhados com o mesmo estilo de linha, estilo que é definido no início do ficheiro. Sendo linhas e não pontos, utiliza-se o elemento *LineString* em vez do elemento *Point*.

E.3 - *Network Link* para ficheiro inicial

Este ficheiro apenas contém a ligação para que o ficheiro inicial seja aberto. A seguir mostra-se o seu conteúdo:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<kml xmlns="http://earth.google.com/kml/2.1">
  <NetworkLink>
    <name>Informação inicial</name>
    <Link>
      <href>192.168.2.1/GEarth_Init.kml</href>
    </Link>
  </NetworkLink>
</kml>
```

E.4 - Ficheiro de actualizações

Este ficheiro é alterado uma vez por minuto para que as posições dos utilizadores da rede sejam actualizadas, assim como para marcar novos esquemas que sejam recebidos pelo servidor. Para realizar as actualizações ao ficheiro inicial utiliza-se o elemento *Update* e dentro deste, os elementos *Change* e *Create*. De seguida pode ver-se um exemplo deste ficheiro:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<kml xmlns="http://www.opengis.net/kml/2.2"
xmlns:gx="http://www.google.com/kml/ext/2.2"
```

```
xmlns:kml="http://www.opengis.net/kml/2.2"
xmlns:atom="http://www.w3.org/2005/Atom">
<NetworkLinkControl>
<Update>
<targetHref>
192.168.2.1/GEarth_Init.kml
</targetHref>
<Style id="tipo1_on">
<Icon>
<scale>0.6</scale>
<href>..\Imagens\kml_tipo1_on.png</href>
</Icon>
</Style>
<Style id="tipo1_off">
<Icon>
<scale>0.6</scale>
<href>..\Imagens\kml_tipo1_off.png</href>
</Icon>
</Style>
<Style id="tipo2_on">
<Icon>
<scale>0.7</scale>
<href>..\Imagens\kml_tipo2_on.png</href>
</Icon>
</Style>
<Style id="tipo2_off">
<Icon>
<scale>0.7</scale>
<href>..\Imagens\kml_tipo2_off.png</href>
</Icon>
</Style>
<Style id="tipo3_on">
<Icon>
<scale>0.7</scale>
<href>..\Imagens\kml_tipo3_on.png</href>
</Icon>
</Style>
<Style id="tipo3_off">
<Icon>
<scale>0.7</scale>
<href>..\Imagens\kml_tipo3_off.png</href>
</Icon>
</Style>
<Style id="1">
<LineStyle>
<color>ff0000aa</color>
<width>2.5</width>
</LineStyle></Style>
<Create>
<Placemark id=“1234CCOM001”>
<name>1234CCOM001</name>
<description>online</description>
<styleUrl>#tipo1_on</styleUrl>
<Point id=”6”>
<coordinates>-9.13711,38.7369</coordinates>
</Point>
</Placemark>
</Create>
<Change>
<Placemark targetId=“1234CCOM002”>
<name>1234CCOM002</name>
```

```
<description>online</description>
<styleUrl>#tipo1_on</styleUrl>
<Point targetId=”7”>
<coordinates>-9.13822,38.7368</coordinates>
</Point>
</Placemark>
</Change>
</Update>
</NetworkLinkControl>
</kml>
```

Como se pode observar, este ficheiro contém vários estilos de pontos, uma vez que todas as posições dos utilizadores são marcadas a partir dele. Existem estilos para três tipos de utilizadores que podem ser considerados *online* ou *offline*. Todos os pontos e posições são marcados com um *id* para poderem ser alterados posteriormente com o elemento *targetId*. Para que este ficheiro consiga actualizar o ficheiro inicial, a ligação, que se encontra no elemento *targetHref,* deve ser da forma *http* devido a restrições de segurança impostos pela *Google*.

E.5 - *Network Link* para o ficheiro de actualizações

Este ficheiro, tal como o *Network Link* para o ficheiro inicial, nunca é alterado depois de criado. A seguir pode ver-se o seu conteúdo:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<kml xmlns="http://earth.google.com/kml/2.1">
  <NetworkLink>
    <name>Informação actualizada</name>
    <Link>
      <href>GEarth_Update.kml</href>
      <refreshMode>onInterval</refreshMode>
      <refreshInterval>60</refreshInterval>
    </Link>
  </NetworkLink>
</kml>
```

Tal como o *Network Link* descrito em E.3, este ficheiro é muito reduzido pois contém apenas a ligação para o ficheiro que vai abrir. Ao contrário do *Network Link* anterior, este ficheiro é também composto pelos elementos temporais *refreshMode* e *refreshInterval,* para que o ficheiro de actualizações seja aberto num intervalo de tempo, que neste caso são 60 segundos.

Anexo F - Manual do Utilizador do sistema desenvolvido

F.1 - Introdução

Este anexo contém toda a informação necessária para utilizar o sistema desenvolvido na presente dissertação de modo correcto e eficaz. O sistema desenvolvido é composto por duas aplicações: um Cliente e um Servidor.
A aplicação Cliente deverá ser utilizada num terminal portátil, como por exemplo, um computador montado num veículo e ter acesso a um receptor GPS a fim de utilizar todas as suas funcionalidades. A ligação ao receptor GPS deverá ser feita através de uma porta COM virtual que pode ser efectuada por cabo ou através de *Bluetooth*.
A aplicação Servidor pode ser utilizada num terminal estacionário, não sendo necessário nenhum tipo de *hardware* extra. É necessário, no entanto, que o terminal tenha um servidor SQL onde se encontre a base de dados dos utilizadores.
Ambas as aplicações necessitam de ligação à *Internet* para comunicarem com a rede.

As imagens utilizadas encontram-se na pasta MAPAS e têm de estar georreferenciadas para que a aplicação as possa utilizar. Esta georreferenciação é feita a partir das coordenadas geográficas dos seus cantos superior esquerdo e inferior direito. No ficheiro de informação acerca dos mapas, *InfoMapas.txt*, que se encontra, tal como todos os outros ficheiros de conFiguração, na pasta DADOS, os mapas têm o formato:

ist.jpg /ist visto de cima
38.7382944400N9.1408888890W
38.7351972200N9.1358305560W
38.7360111111N9.1384361111W
16668.00_6801.00
38.7367361111N9.1393750000W
9937.00_13304.00
/

Este formato corresponde a:

ist.jpg /ist visto de cima – nome do ficheiro da imagem e a seguir a "/", uma nota sobre o mesmo
38.7382944400N9.1408888890W – coordenadas do canto superior esquerdo em graus e orientação, primeiro a latitude e depois a longitude
38.7351972200N9.1358305560W – coordenadas do canto inferior direito
38.7360111111N9.1384361111W – coordenadas extra para facilitar a marcação de posições
16668.00_6801.00 – localização, na imagem, do ponto de coordenadas extra
38.7367361111N9.1393750000W /torre de quimica – depois do caracter "/", pode introduzir-se uma nota para o ponto
9937.00_13304.00
/ – o caracter "/" marca o final dos dados de um mapa

O sistema utiliza também esquemas que são desenhados directamente sobre as imagens, na aplicação Cliente. Esses esquemas são armazenados no ficheiro *Esquemas.txt* segundo o formato:

Nº DE ESQUEMAS: 1 – número total de esquemas no ficheiro
ID: 2 – Identificador do esquema, atribuído pelo servidor
Nota: esquema 1 – Nota para melhor identificação do esquema
Data de criação: 25-11-2010 14h42
RGB: 128 221 227 – cor de representação do esquema na aplicação Cliente

Coordenadas (15): - Número de pontos que constituem o esquema

38.7767304315N 9.1736923549W 0 – cada ponto é composto pela latitude, longitude e um índice que indica se é um segmento novo do esquema ou não.

FIM DE ESQUEMA – cada esquema termina deste modo

F.2 - Servidor

A aplicação Servidor, uma vez inicializada, não necessita de utilizador a não ser para determinadas operações. Antes de ser utilizada, a aplicação deve ser configurada.

No ficheiro de configuração *Config.txt* é necessário fornecer os seguintes parâmetros:

- ***Server port*** – Porto onde o servidor fica à espera de ligações;
- **Endereço http para a pasta dos ficheiros KML** – Endereço http para a pasta do servidor e não apenas o seu endereço IP;
- **Caminho para a pasta dos ficheiros KML** – Caminho da forma "c:\\Program Files\Servidor\Pasta KML" (este caminho é apenas um exemplo).

No ficheiro de configuração *Config_SQL.txt* é necessário fornecer os parâmetros para aceder à base de dados SQL:

- **Url do servidor** – Endereço para a base de dados;
- **Segurança integrada com Windows** – S ou N, se esta opção estiver seleccionada na base de dados;
- **Nome do Utilizador** – Nome para aceder à base de dados;
- ***Password*** – Palavra passe para aceder à base de dados.

Uma vez configurada, a aplicação pode ser iniciada. A janela da aplicação pode ser visualizada na Figura F.1.

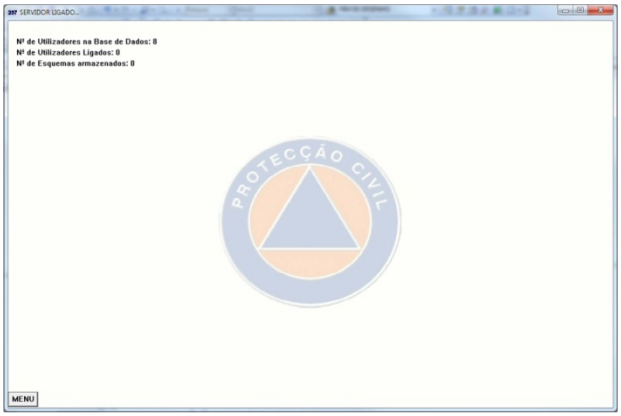


Figura F.1 - Janela da aplicação Servidor.

A aplicação reencaminha automaticamente a informação entre utilizadores, sendo necessário um operador para as três operações que surgem quando se selecciona o botão *Menu* e que são mostradas na Figura F.2:

Figura F.2 - Menu da aplicação Servidor.

A opção “Envia Mapa” permite enviar para a rede um mapa já utilizado pela mesma ou um totalmente novo, depois de georreferenciado. Quando a opção é seleccionada, surge a janela que se mostra na Figura F.3.

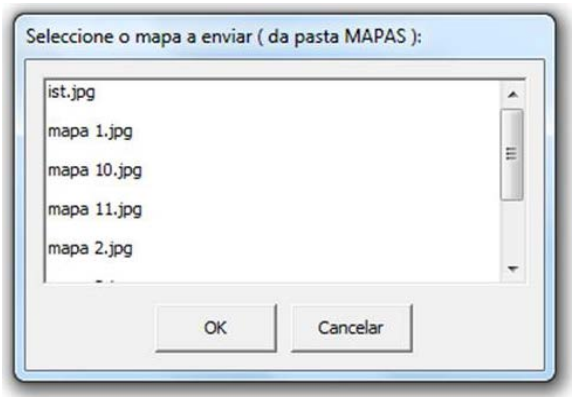


Figura F.3 - Janela para selecção de mapa a enviar.

Todas as imagens *.jpg* e *.bmp* da pasta MAPAS, aparecem nesta lista. Se a imagem seleccionada não estiver georreferenciada, surge a janela que se pode visualizar na Figura F.4.

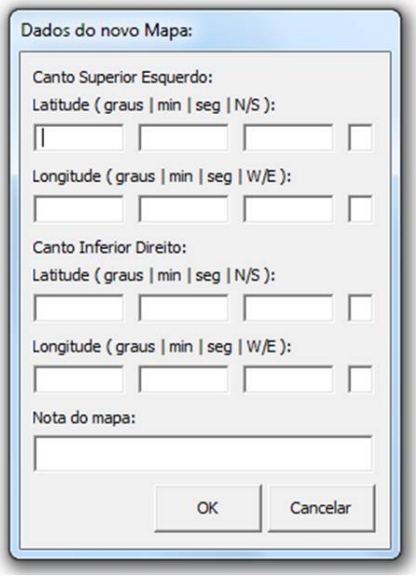

Dados do novo Mapa:
Canto Superior Esquerdo:
Latitude (graus | min | seg | N/S):
Longitude (graus | min | seg | W/E):
Canto Inferior Direito:
Latitude (graus | min | seg | N/S):
Longitude (graus | min | seg | W/E):
Nota do mapa:
OK
Cancelar

Figura F.4 - Janela para georreferenciar novo mapa.

Os mapas são georreferenciados como se explica na secção F.1 deste anexo.

A opção “Coords Extra” permite enviar para todos os utilizadores ligados ao Servidor informação sobre as coordenadas extra de um mapa. Quando a opção é seleccionada aparece uma janela igual à visualizada na Figura F.3 e onde estão presentes todos os mapas com mais de dois pares de coordenadas de georreferenciação, uma vez que os dois pares correspondentes aos cantos superior esquerdo e inferior direito são obrigatórios.

A opção “*Google Earth*” abre o programa *Google Earth* de modo a que se possam visualizar os utilizadores da rede e os esquemas. Simultaneamente, a aplicação abre uma janela DOS. Essa janela DOS tem que ser fechada para que a aplicação possa fazer actualizações ao *Google Earth*.
No programa *Google Earth*, os esquemas são marcados a vermelho, enquanto que os utilizadores ligados ao servidor são marcados com e , se forem do tipo 1 ou 2,

respectivamente. Se os utilizadores se desligarem do servidor, os seus marcadores são alterados para e , caso sejam do tipo 1 ou 2, respectivamente.

F.3 - Cliente

Antes de iniciada, a aplicação Cliente necessita de ser conFigurada através de dois ficheiros. No ficheiro *Config.txt* é necessário introduzir a seguinte informação:

- **ID do utilizador** – Identificador do utilizador. Este nome tem que estar na base de dados do servidor;
- **Uso de 2 Receptores para direcção? (S / N) –** Define se a aplicação vai mostrar a direcção de movimentação do utilizador. Só se deve colocar "S" se o terminal da aplicação estiver emparelhado com dois receptores GPS;
- ***Server* ip or *name*** – endereço do Servidor;
- ***Server* port** – Porto onde o Cliente se deve tentar ligar no Servidor, e onde este aguarda ligações.

No ficheiro *Config_GPS.txt* podem conFigurar-se os receptores GPS:

- **Porta COM** – Porta COM virtual a que o receptor está ligado;
- ***Baud Rate*** – Velocidade de transmissão de dados;
- ***Byte Size* –** Número de *bits* por *byte* transmitido;
- **Paridade (*Even* / *Mark* / *No parity* / *Odd* / *Space*) –** Esquema de paridade;
- ***Stop Bits* (1 / 1.5 / 2) –** Número de *bits* enviados para marcar o final de cada caracter transmitido;
- ***Flow Control* (S / N) –** Existência de controlo de envio e recepção da informação.

Depois de conFigurada, a aplicação pode ser iniciada. Na Figura F.5 pode ver-se a janela inicial.

Figura F.5 - Janela inicial da aplicação Cliente.

A posição do utilizador da aplicação é marcada com quando este se encontra desligado do Servidor e se estiver ligado. Caso a opção para mostrar a direcção de movimentação seja seleccionada, os marcadores passam a ser e esteja o utilizador ligado ao Servidor, ou não, respectivamente.

Na marcação dos outros utilizadores, se estes forem de tipo 1, os marcadores são iguais aos do utilizador mas de cor laranja e se forem do tipo 2, são de cor azul.

A janela inicial tem quatro botões de *interface* do lado direito, que são utilizados para controlar a imagem desenhada. Esses botões podem ser visualizados com maior pormenor na Figura F.6.

Figura F.6 - Botões de *interface* da janela do Cliente.

Os botões presentes na janela permitem as seguintes funcionalidades:

- **Prox.Mapa** – Altera o mapa desenhado na janela para o próximo onde o utilizador se insere ou o próximo da lista, caso não exista posição válida do receptor GPS;
- **Zoom –** – Afasta a imagem até esta preencher a janela totalmente;
- **Zoom 0** – Faz *reset* ao zoom, ou seja, coloca a totalidade do mapa na janela;
- **Zoom +** – Aproxima a imagem. Isto também pode ser feito clicando duas vezes no mesmo local da imagem, ficando esse ponto a ser o centro da janela. Depois da imagem estar aproximada é possível arrastar a mesma mantendo o botão esquerdo do rato pressionado.

O outro botão de *interface*, visível na Figura F.5, é o botão **Menu**. Este botão, quando pressionado, abre o menu da aplicação. As opções que surgem podem ver-se na Figura F.7.

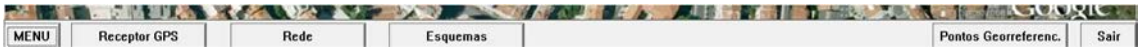


Figura F.7 - Opções da aplicação Cliente.

Cada uma destas opções abre um outro menu. O submenu **Receptor GPS** pode ser visto na Figura F.8.

Figura F.8 - Submenu **Receptor GPS**:
a) Ligado ao receptor GPS; b) Sem ligação ao receptor GPS.

Na Figura F.8 a) podem ver-se as opções que surgem quando a aplicação está ligada a um receptor e a receber informação. Neste caso, a opção ***Reset*** serve para desligar a comunicação com o receptor para depois a tentar restabelecer.
A Figura F.8 b) corresponde às opções que surgem quando a aplicação não está ligada a nenhum receptor GPS e a opção **Ligar**, tenta estabelecer uma ligação com a porta COM da conFiguração.

A opção **ConFigurar**, presente em a) e b) serve para conFigurar o(s) receptor(es) utilizado(s) e definir se a aplicação deve tentar ler informação de um segundo receptor, com a finalidade de mostrar a direcção de movimentação do utilizador.

O segundo submenu, o submenu **Rede**, apenas contém uma opção, a opção **Ligar**, como se pode ver na Figura F.9.

Figura F.9 - Submenu **Rede.**

Esta opção tenta estabelecer uma ligação com o Servidor. Se for bem sucedido, informa o utilizador e o centro do marcador de posição é alterado para verde.

O submenu **Esquemas** pode ser visualizado na Figura F.10.

Figura F.10 - Submenu **Esquemas.**

Este submenu tem duas opções. A opção **Listar** faz aparecer a janela tal como se mostra na Figura F.11 e onde se encontram todos os esquemas presentes no Cliente.

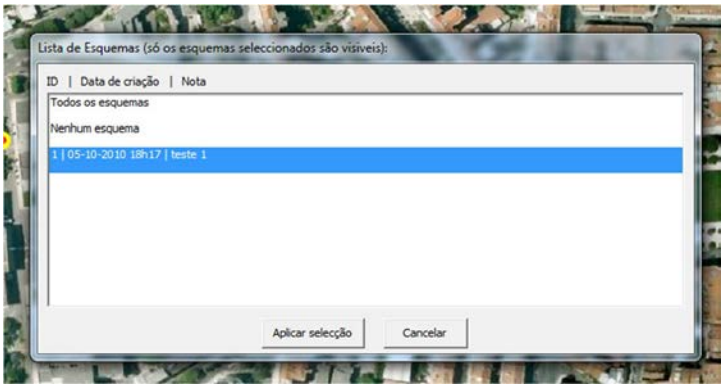

Lista de Esquemas (só os esquemas seleccionados são visiveis):
ID | Data de criação | Nota
Todos os esquemas
Nenhum esquema
1 | 05-10-2010 18h17 | teste 1
Aplicar selecção
Cancelar

Figura F.11 - Janela da opção **Listar.**

Para além de listar todos os esquemas, esta janela permite ainda seleccionar quais os esquemas que se querem visualizar na janela do Cliente.

A opção Novo do submenu Esquemas permite criar um novo esquema, que pode ser composto por vários segmentos. O *interface* normal da janela desaparece, surgindo apenas o botão para finalizar o esquema, como se pode ver na Figura F.12.

Figura F.12 - *Interface* de criação de novo esquema.

Cada segmento é desenhado sem levantar o dedo do ecrã ou mantendo o botão esquerdo do rato, pressionado. Caso se deseje anular a criação do esquema pode pressionar-se a tecla Esc, do teclado. Quando se pressiona o botão **Fim**, surge a janela presente na Figura F.13, onde se podem introduzir os dados finais do esquema.

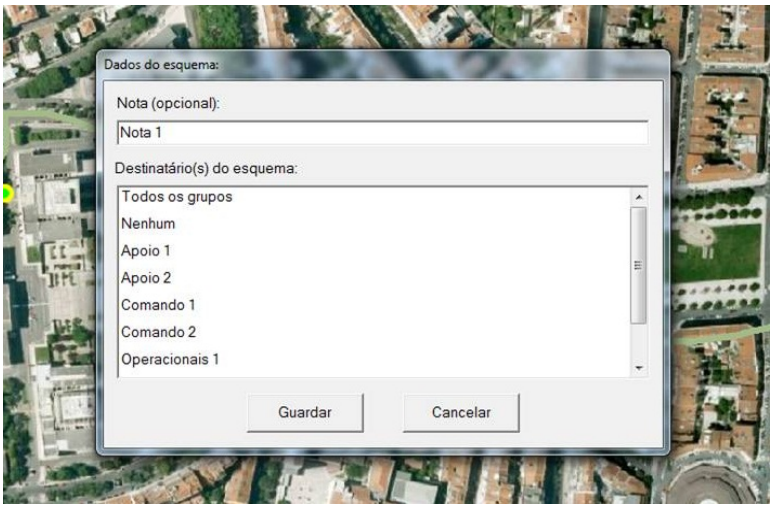


Figura F.13 - Janela para finalizar a criação de um esquema.

Nesta janela pode introduzir-se uma nota para o esquema e quais os destinatários do mesmo. Os destinatários só estão presentes depois do Cliente se ligar ao Servidor pelo menos uma vez. Caso o Cliente ainda não o tenha feito, quando se ligar ao Servidor, esta janela volta a aparecer para cada esquema inacabado. Depois do Servidor validar o esquema, ele atribui-lhe um *ID* e transmite-o para a rede, de acordo com as permissões que o utilizador tem na base de dados.

O último submenu, o submenu **Pontos Georreferec**, tem opções referentes aos pontos de georreferenciação das imagens e pode ser observado na Figura F.14.

Figura F.14 - Submenu **Pontos Georreferenc.**

A opção **Novo (Manual)** permite adicionar manualmente um ponto de georreferenciação à imagem. O utilizador deve pressionar um local da imagem onde quer que o ponto seja adicionado. Seguidamente surge a janela presente na Figura F.15, onde se devem introduzir os dados geográficos para o ponto.

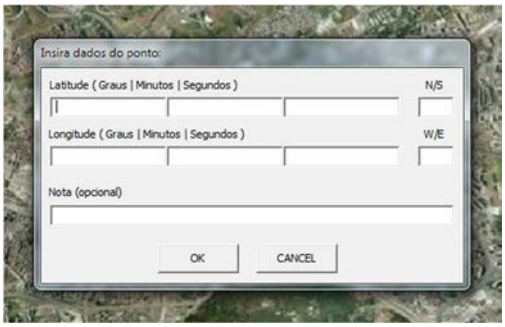


Figura F.15 - Janela para introdução de dados de georreferenciação.

Para além da latitude e longitude do ponto, também se pode introduzir uma nota para melhor o identificar. Se as coordenadas geográficas não se encontrarem dentro da imagem, o ponto é descartado.

A opção **Novo (Receptor)**, tal como a opção **Novo (Manual)**, permite adicionar um ponto de georreferenciação extra à imagem. A diferença reside nas coordenadas do ponto, que em vez de serem introduzidas manualmente, são retiradas das recebidas pelo receptor GPS. Por isto, o utilizador só tem de introduzir uma nota, através da janela que se apresenta na Figura F.16.

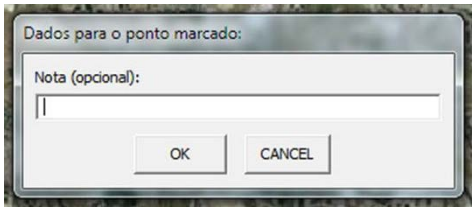


Figura F.16 - Janela para finalizar introdução de um ponto de georreferenciação através do receptor.

A opção **Mostrar Pontos** mostra os pontos de georreferenciação associados à imagem desenhada na janela da aplicação. Todos os pontos são desenhados com o marcador . No entanto, se existir uma posição válida para o utilizador, dois dos pontos são marcados com o marcador , delimitando o rectângulo utilizado para o cálculo da representação do utilizador no mapa. Os pontos de georreferenciação extra servem para melhorar o cálculo do posicionamento dos utilizadores. Na Figura F.17 podem visualizar-se os pontos de georreferenciação de uma imagem.

Figura F.17 - Janela com imagem onde se mostram os pontos de georreferenciação.

A opção Enviar para a rede, tal como no Servidor, envia para a rede as coordenadas de georreferenciação extra para o mapa seleccionado, depois do Servidor lhe dar autorização, baseado nas permissões existentes na base de dados. Quando a opção é seleccionada, surge a janela que se mostra na Figura F.18, que é igual à janela que surge na aplicação Servidor.

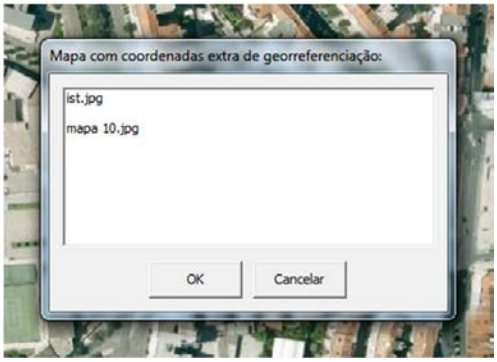


Figura F.18 - Lista de mapas com coordenadas de georreferenciação extra.

F.4 - Problemas Conhecidos

Se os ficheiros de configuração tiverem erros com os espaços e linhas, a aplicação pode apresentar erros. Se isto acontecer, deve voltar a executar-se a aplicação. Se ocorrerem dois erros seguidos, é porque, seguramente, existem erros nos dados introduzidos.

Se dois utilizadores com o mesmo *ID de Utilizador* tentarem ligar-se ao Servidor, este pode apresentar erro, pelo facto do Servidor não saber qual dos utilizadores manter e qual desligar.

Se durante o envio de um mapa para a rede o Servidor sair com erro, deve reiniciar-se o Servidor e, seguidamente, tentar novo envio.

Anexo G - Artigo WPMC'11

Georeferencing for coordinated positioning applications

Tiago Barroso, José Sanguino, António Rodrigues
Instituto de Telecomunicações / Instituto Superior Técnico, Technical University of Lisbon, Portugal
Email: tvbarroso@gmail.com; sanguino@lx.it.pt; antonio.rodrigues@lx.it.p

Abstract – In situations of natural disasters or similar, people involved in civil protection operations need the highest degree of coordination. When resorting to digital means of coordination like positioning applications that rely on the Global Positioning System (GPS) to show users their position on digitalized cartography, users expect their position to be shown as accurately as possible. To achieve this, the images used as cartography must be associated with accurate geographical coordinates but sometimes that is not enough because the process of associating geographical information to an image, called georeferencing, has errors. The best way to minimize these errors is to increase the amount of geographical information, in the form of georeferencing points, associated with the used image. In this paper the amount of geographical information needed for an image to be used as a reliable map in a coordinated positioning application is studied.

Keywords – georeferencing; GPS; coordinated positioning.

I. INTRODUCTION

In situations like firefighting, search and rescue, evacuations and similar, the forces involved need to be highly coordinated. To achieve this, a precise knowledge of the terrain and the position of every element, either human or mechanical, is needed. The information about the terrain can be obtained using maps and the best way to obtain positioning information is through the use of the Global Positioning System (GPS), [1], [2]. GPS provides its users with many kinds of positioning information like geographical coordinates, direction and speed. Some systems were developed that merge these two kinds of information (terrain and positioning) allowing users to be connected to a network and exchange not only positioning information but also other kinds of information like text and sketches that can be drawn over the maps. The cartography used may be any kind of image, from a digitalized map to an aerial photograph, as long as the application has access to the geographical information of the image. The process of assigning geographical coordinates to images is called georeferencing. This process is associated with errors such as distortions, that may occur when the image is digitalized, or when the projection used on it is unknown. To minimize this, we can use more information when georeferencing an image, in the form of extra georeferencing points apart from the coordinates of its corners. The use of these additional points can also be useful to decrease the complexity of the models used to calculate the representation of coordinates on the image, like in the case of users' positions. In this paper the amount of geographical points needed to achieve a precise representation of a user over a georeferenced image is studied. Also, the optimal size of a grid of points is studied, as a relation between the accuracy of users' representations and the amount of information needed.

II. COORDINATED POSITIONING

In coordinated positioning applications, the systems developed usually have server-client architectures or a hybrid between server-client and peer-to-peer. The usual system architecture is shown in Fig. 1.

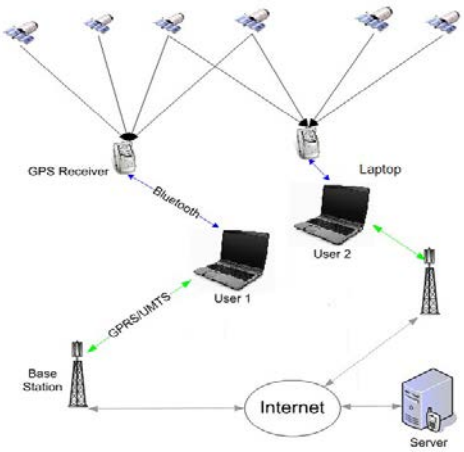


Figure G1. Coordinated Positioning Systems architecture.

These systems allow their users to connect to each other, usually through the Internet, to share positioning data collected from GPS receivers and exchange other information like text or sketches. These sketches allow the users to spread information about paths and terrain features and give authorized users, like commanders, the possibility to assign precise positioning for the forces at their disposal. The GPS receiver is usually part of the unit used with the client application and connects to it through cable or Bluetooth. One of these systems, described in [3], was developed to be used with Personal Digital Assistants (PDAs) that connect to each other through a server. Another example can be found in [4]. As PDAs have limited resources, a system of image download was implemented so that only the necessary maps were stored in each unit. All of these maps were composed of an image and the corresponding geographic coordinates. A description of this system of map distribution and how the images are chosen and transmitted to the clients can be seen in [5]. This map distribution strategy is used in Internet positioning applications such as Google Earth or Google Maps to minimize the amount of data transmitted, as only the necessary parts of a map are given to a user. Another example of this kind of positioning system is the one described in [6]. In this system the units used are laptops which can be installed in vehicles used in civil protection operations. The interface of this system's client application is shown in Fig. 2. In this system, due to the high storage capacity of laptops, the distribution of maps as described earlier isn't used but each map may be georeferenced with as many georeferencing points as the users desire, giving them the possibility to improve the accuracy of the application's positioning calculations.

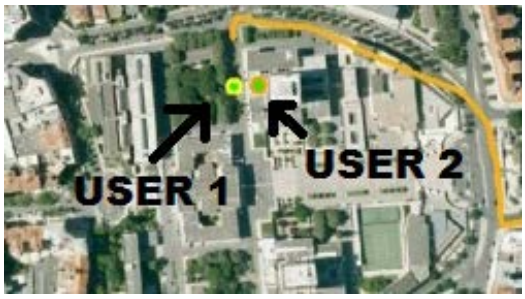


Figure G2. Example of a coordinated position system interface.

III. IMAGE GEOREFERENCING

Coordinated positioning applications make use of digitalized maps to provide users with visual information about their position and, if part of a network, the positions of every other user connected to it. The application used for this study is described in [6]. Like other applications, it allows the use of a great range of images, as long as they are georeferenced. The minimum number of points required to georeference an image is two, usually two opposing corners, but, by using more points, the coordinates assigned to each pixel can become more accurate. In the developed application, image georeferencing is achieved with the geographical information of the upper left and bottom right corners. With these two points, associated with the image corners, the application can calculate which image pixel corresponds to the coordinates received by a GPS receiver. This method has an error associated with it, because it assumes that, on the image, all pixels on a horizontal line have exactly the same latitude, and all pixels on a vertical line have the same longitude. This depends on the image projection and is false in most cases where the latitude has equal values over a curve and not a line and the same for the longitude. This means that the farther away the points of georeferencing are from each other, the greater the error of the position calculated. This error is illustrated in Fig. 3. Apart from this, the image may have distortions and there may be zones where the number of pixels per degree (of latitude and longitude) vary, due to the projection used. To compensate for these errors, we can assign more georeferencing points to the image, minimizing the distance

between a pixel and the closest georeferencing point. Another method, more complex, of georeferencing an image is described in [7].

Figure G3. Georeferencing error. Different latitudes along an horizontal line of pixels.

The process of calculating the representation of a user on a georeferenced image is simple and illustrated in Fig. 4. From the start we must know the width and height of the image, cx_{map} and cy_{map}, respectively, in pixels. We start by calculating the variation of the user's position's latitude from the corner with the smaller value of latitude, Δlat_u, by subtracting them. The same is done for the longitude values, obtaining $\Delta long_u$. After that, by subtracting the values of latitude and longitude of the two points used for georeferencing the image, upper left (UL) and bottom right (BR), we obtain, in degrees, the height, Δlat, and the width, Δlong, respectively, of the area represented in the image. With (1) we calculate the horizontal pixel coordinate of the user, x, and with (2), the vertical coordinate, y.

$$x = \frac{cx_{mapa}\Delta long_u}{\Delta long} \quad (1)$$

$$y = \frac{cy_{mapa}\Delta lat_u}{\Delta lat} \quad (2)$$

To select which are the best two points to calculate a position, the application creates squares for every combination of two georeferencing points and measures the distance of its center to the received point, choosing the one with the shorter distance. The creation of these squares is illustrated in Fig. 5.

The safest method of georeferencing an image is to assign georeferencing points to it to form a uniform grid. This way, the representation of every possible position in the map is calculated with approximately the same accuracy. Different spacing between the georeferencing points in the grid means different accuracy of the calculated pixel coordinates.

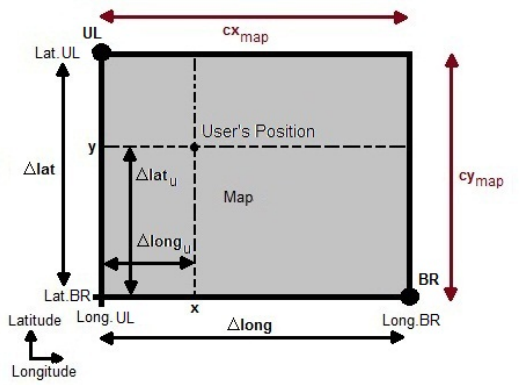
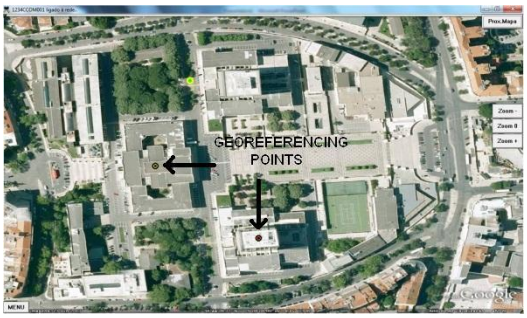
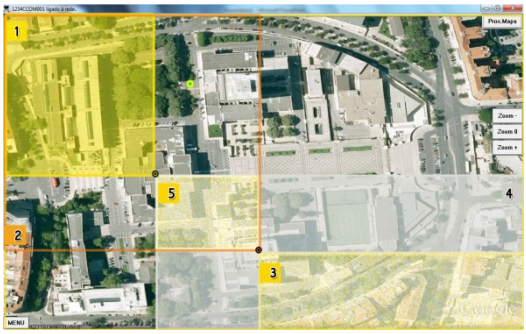


Figure G4. Calculation of a user's representation on a map.



(a)



(b)

Figure G5. (a) Window with georeferencing points marked (b) Representation of the squares calculated.

IV. TEST CASE AND RESULTS

To achieve a more precise representation of a user's coordinates on a georeferenced image, the distance between the corners of the square used must be shorter, which means the square used must be smaller and therefore, the number of points needed to cover the entire image must be higher. To study the size of the grid needed to achieve an acceptable accuracy for the representation of a user's coordinates, a group of georeferencing points were marked on an image. Each pair of points simulates a grid of a different size. In the tests, a Google Earth image of the University campus was used, covering an area of approximately 18'' in longitude and 8.25'' in latitude (approximately 440m x 258m). It is shown in Fig. 6. The image was used four

times in the application, and each time, the distance between the extra georeferencing points used to calculate the pixel coordinates was shortened to simulate the use of a tighter grid. Also, a user with known coordinates was marked on the image and his coordinates were incorporated into the application as if they were obtained by a GPS receiver. With these conditions, for every map used, the accuracy of the given coordinates' representation on the image is increased.

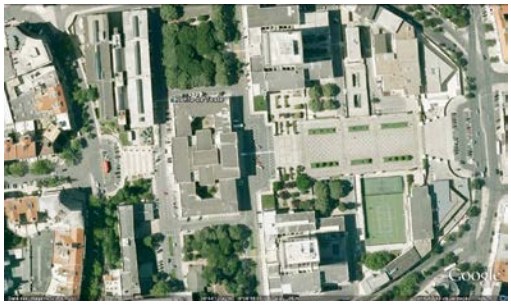


Figure G6. Test image.

In the following figures, the points marked in orange are the corners of the square used to calculate the representation of the user and the ones in yellow are additional georeferencing points. The representation of the given coordinates is shown by the yellow and red mark. The blue dot represents the true position of the test user and needs to be matched. To see the difference from the marked dot to the calculated point, a high level of zoom was used and the distance was measured on Google Earth. The first test was made with one extra georeferencing point on the center of the image. The resulting calculated position is shown in Fig. 7. As can be seen, the error is noticeable. In meters it's around 3m. Fig. 8 shows the application using two points with a smaller distance between them. It shows an increased accuracy of the position calculated. The error was approximately 1m. Fig. 9 shows the next case, where the number of points was increased to three, shortening the distance between the two points used in half and shows even better results. The calculated point and the true representation of the user seem to match. The error is less than 50cm. In terms of use of the application, this level of quality of the georeferencing of the maps is more than acceptable. Fig. 10 shows the case with four extra point of georeferencing and again, shortening the distance of the points by half.

Figure G7. Test case 1: grid with 5 points.

Figure G8. Test case 2: grid with 13 points.

Figure G9. Test case 3: grid with 41 points.

Figure G10. Test case 4: grid with 145 points.

As can be seen, there is no improvement of the calculated point. The case presented in Fig. 8 is enough for most users and for most uses of the application. If extremely accurate positioning is required, even at very high zoom levels, then the case shown in Fig. 9 seems acceptable, as the error of the image representation is less than a step. Having in mind that the distance of the georeferencing points used was halved every time starting with the distance from the two corners of the image, the number of the points

needed to create a uniform grid of georeferencing points is illustrated in Fig. 11. The black dots represent the number of georeferencing points needed when we halve the distance of the original georeferencing corners once and the red dots represent the increase in points when we halve that distance again.

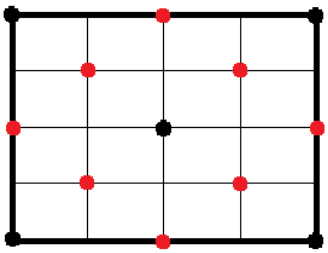


Figure G11. Increase in georeferencing points.

Every time we halve the corner's distance, each rectangle divides in four, increasing the number of points needed, as is shown in Table I.

TABLE I. GEOREFERENCING POINTS NEEDED FOR A UNIFORM GRID

Nhalved	1	2	3	4	5
Npts	5	13	41	145	545

Nhalved is the number of times the distance between the corners of the image was halved and Npts is the number of points needed to cover the entire image with a uniform grid. With the case of Fig. 8, the number of points needed to create a grid is 13 and with the case of Fig. 9 is 41. When we use a grid of 13 points, each square created by the georeferencing points has approximately 4.51'' in longitude and 2.07'' of latitude (approximately 110m x 40m). In the case of the 41 point grid, the squared needed has 2.75'' in longitude and 1.03'' in latitude (approximately 55m x 20m).

V. CONCLUSIONS

As shown, the increase in points used for the georeferencing of an image translates in an increase of the accuracy of the representation of users' positions on a georeferenced image. The drawback is that to have a grid of points that maintain the quality of the georeferencing over the entire map requires a large amount of points. Like shown in the test cases, using 13 points for georeferencing gives the application a very good accuracy on the calculations, with an error of approximately 1m, while to have almost a perfect accuracy, with an error of approximately 50cm, 41 points are needed, which may be very hard of obtaining. Due to the practical use of the application, using 13 points of georeferencing for this image is the best option. Disregarding distortions in the image, which may change these conclusions, to obtain a very high level of accuracy, maintaining the number of georeferencing points relatively low, the map in use by the application should have a grid of rectangles where each represents an area of approximately 1000 m^2.

REFERENCES

[1] E. Kaplan and C. Hegarty, Ed., Understanding GPS: Principles and applications, 2nd Ed., Boston, MA: Artech House, 2006.

[2] B. Parkinson and J. Spilker, Ed., Global Positioning System: Theory and applications, Vol. I, Washington, DC: American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., 1996.

[3] R. Matos, D. Santos, J. Sanguino, A. Rodrigues, "A GPS-based Mobile Coordinated Positioning System for Firefighting Scenarios," Proc. of the 1st International Conference on Mobile Computing and Wireless Communications (MCWC 2006), Amman, Jordan, 17-20 September 2006, pp.209-214.

[4] F. Tocha, J. Sanguino, A. Rodrigues, "A Coordinated Positioning System Based on GPS," 2º Congresso do Comité Português da URSI – Compatibilidade Electromagnética e Novos Serviços de Radiocomunicações, Lisbon, Portugal, 20-21 November 2008.

[5] D. Santos, R. Matos, J. Sanguino, A. Rodrigues, "Automatic Location-based Map Distribution Service for Mobile Coordinated Positioning System," IADIS International Conference, WWW/Internet 2006, Murcia, Spain, 6-7 October 2006, vol. 2, pp. 305-309.

[6] T. Barroso, "Coordinated Positioning System for Civil Protection Operations", MSc Thesis, Instituto Superior Técnico, Technical University of Lisbon, 2011.

[7] U-Blox, "GPS – Essentials of satellite navigation", document number GPS-X-02007-D, 2009.

Anexo H - Artigo Comité português da URSI 2011

Coordinated Positioning System Based on GPS for Assistance of Civil Protection Operations

Tiago Barroso, José Sanguino, António Rodrigues
Instituto de Telecomunicações / Instituto Superior Técnico, Technical University of Lisbon, Portugal
Email: tvbarroso@gmail.com; sanguino@lx.it.pt; antonio.rodrigues@lx.it.pt

Abstract–The purpose of this project is the development of a coordination positioning framework with the purpose of aiding civil protection operations. For this, the developed system makes use of the Global Positioning System (GPS) to gather positioning information about the users and the existing mobile communications systems of the second and third generations, in order to transmit the gathered information and other data between the users. The applications developed let any kind of image be used as a map, from digitalized cartography to aerial photographs, as long as it is associated with its geographical coordinates. Other than transmitting positioning information, the applications also let users share sketches that are made on the maps and can contain information like waypoints or points of interest, and extra geographical information, gathered from the GPS receiver or introduced manually, for any map in use. All the information and data is transmitted over the network through a system of permissions and authorizations in the form of a database. Also, if necessary, new maps can be introduced in the network without having to bring the system offline. The applications developed were tested in order to assess their capabilities and viability as a commercial product.

Keywords: GPS; coordinated positioning.

I Introduction

In situations like firefighting, search and rescue, evacuations and similar, the forces involved need to be highly coordinated. To achieve this, a precise knowledge of the terrain and the position of every element, either human or mechanical, is needed. The information about the terrain can be obtained using maps and the best way to obtain positioning information is through the use of the Global Positioning System (GPS). GPS provides its users with many kinds of positioning information like geographical coordinates, direction and speed. Some systems were developed that merge these two kinds of information (terrain and positioning) allowing users to be connected to a network and exchange not only positioning information but also other kinds of information like text and sketches that can be drawn over the maps. The cartography used may be any kind of image, from a digitalized map to an aerial photograph as long as the application has access to the geographical information of the image. The association of an image with its geographical information is called georeferencing. This process allows not only the users' positions to be shown on the chosen cartography, but also their orientation, if they are connected to two GPS receivers. To control the flow of information in the network, a system of permissions was created, in the form of a user database. The system developed was tested to assess its capabilities, performance and viability as a commercial product.

II Relevant Technologies

This project makes use of a variety of technologies that were integrated to achieve the end result. The users connect to GPS receivers using Bluetooth, and make use of the available mobile communication systems to connect to the network. The system developed also needed to be able to communicate with the user database to check for permissions and makes use of Earth browser Google Earth to show certain elements of the network.

A. *Global Positioning System (GPS)*

The GPS system is an electronic information system that provides its users with positioning, velocity and time (PVT) information. It was created by the USA's Department of Defense with two levels of use: a civilian use, with certain limitations and a military use, much more precise than the civilian, [1]. The system is divided into three segments, which can be seen in Fig. 1:

- A space segment comprised of over 30 satellites, [2], in an orbit with an average altitude of 20.200 Km above the Earth surface, arranged in six planes, each with an uneven number of satellites, which transmit various kinds of data like satellite time, position of the satellite in space (ephemeris), approximate position of all the satellites (constellation almanac), satellite's condition, difference between the satellite time and GPS time and signal delays estimate. This information is transmitted in two frequencies: Link 1 (L1), with a central frequency of 1574.45 MHz and Link 2 (L2), with a central frequency of 1227.6 MHz, [3];

- A control segment, which can be divided in three parts: one main control station, responsible for monitoring and managing the satellite constellation, various monitoring stations, which track all satellites in line of sight in order to obtain distance data used for ephemeris and satellite time calculations and several fixed antennas, used to transmit this information periodically to the satellites, [1,4].

- A user segment, which encompasses all devices capable of receiving the messages transmitted by the satellites. This devices need to receive, decode and process the data received, in order to create PVT information. This process is explained in greater detail in [1].

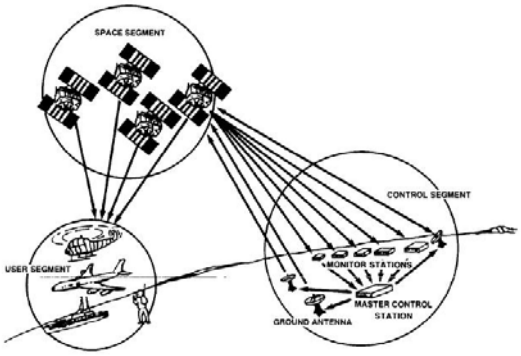


Figure 1. Segments of the GPS system, [1].

B. *Bluetooth*

Bluetooth technology is a wireless communication system created with the aim of replacing connection cables between electronic devices. The system consists of a radio-frequency (RF) transceiver and a set of protocols which enable various types of data to be traded between different devices. This technology operates in the 2.4 GHz band. The low cost and low consumption allows it to be used on all kinds of devices with a wide range of applications. A detailed explanation of this technology can be seen in [5].

C. *Mobile Communication Systems*

At the moment, there are several technologies that allow users' devices to connect to the Internet. These can be from the 2nd or 3rd generations of mobile communication systems. The technologies commonly used that allow for data packets transfer are:

- General Packet Radio Service (GPRS) is a data bearer service based on packet switching that is delivered as a network overlay for Global System for Mobile Communications (GSM) networks. More information can be seen in [6] and [7].

- Enhanced Data rates for GSM Evolution (EDGE) is an improvement over GPRS increasing data rates by up to three fold. EDGE new features and capabilities are shown in [7], [8] and [9].

- High Speed Packet Access (HSPA) is an improvement over the 3G mobile

telecommunication base data transmission technology, Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA), increasing its data rates by over three times. HSPA is a combination of two technologies: High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) and High Speed Uplink Packet Access (HSUPA). HSDPA is shown in detail in [9] and HSUPA information can be seen in [10].

- HSPA+ is the evolution of HSPA, bringing this technology a step closer to the 4th generation of mobile telecommunications in terms of data rates and features. More on this technology is shown in [10].

D. *Structured Query Language (SQL)*

The paper [11], written by E.F. Codd, became the base of today's relational database model. In 1979 the first relational database was created along with a language called Structured English Query Language (SEQUEL), [12], which would later be renamed SQL, as seen in [13]. It was published as a standard by the American National Standards Institute (ANSI) in 1986 and has suffered several revisions over the years. All its history can be seen in [14] and the latest standard in [15]. Most of the actions performed on a database are done with SQL statements. An extensive SQL tutorial is shown in [16].

E. *Keyhole Markup Language (KML)*

The application Google Earth is an Earth browser where points, paths and other kinds of data can be marked on maps based on their geographical information. This information can be extracted to files in the form of KML or KMZ files. KML is the language used by Google Earth and also Google Maps. KMZ is a compresses form of a KML file. These files can also be used to add all kinds of information to the browser, enabling it to show users and sketches of the network created for this project. Everything about this language is available at [17].

III System Description

A. *State of the Art*

This project has taken into account recent and past projects in the field of GPS based coordination systems. One such system is being developed by a consortium composed of Instituto de Telecomunicações (IT), Y-Dreams, Miguel Rios Designer, and is called I-Garment. It consists of a network of users, with the majority being users on foot but also vehicles and some stationary like management centers. They share information through the use of several sensors, some of them located in the clothes of the users. This project was thought as a means of helping firefighters and civil protection operatives. All the information about the development of this project can be seen in [18]. In Fig. 2 the architecture of this system is shown.

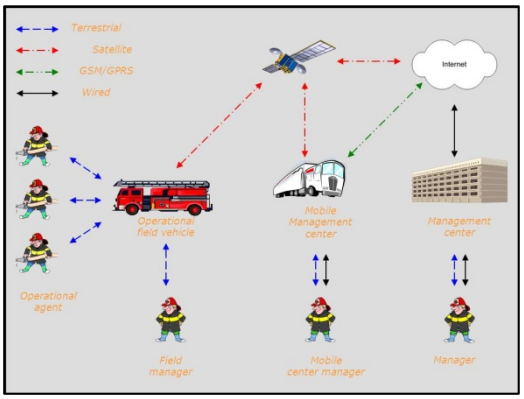
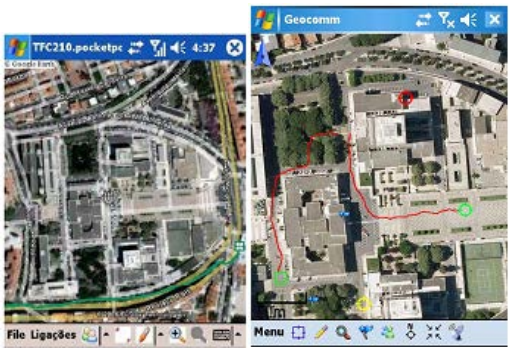


Figure 2. I-Garment System, [18].

Also from IT but from the Lisbon pole in Instituto Superior Técnico, there are two master theses worth mentioning due to the similarities between them and this project. One is TFC 210, developed by Daniel Santos and Ricardo Matos, [19], and the other is "*Geocommunicator: Sistema de posicionamento coordenado baseado em GPS*", developed by Filipe Tocha, [20]. Both use Personal Digital Assistants (PDA) as users of their respective networks and allow geographical information to be shared. They also allow users to draw and transmit sketches drawn on the cartography used. TFC 210 makes use of a map distribution system to keep the cartography stored on the PDA to a minimum, as seen in [21]. Geocommunicator was developed after TFC 210 so it improves on some aspects like power management, energy

consumption and data transmission and introduces new ones like user authentication. Fig. 3 shows the interface windows of these applications.



a) **b)**

Figure 3. TFC 210 (a) and Geocomunicator (b) windows.

B. System Architecture

One of the main aspects and earliest choices needed to be made for this project was the architecture of the system that was going to be developed. An early attempt at Peer-to-Peer architecture was made but the need of a central hub and a permission system changed that to Client-Server architecture. The final architecture used on the system, with GPS and Internet connections, can be seen in Fig. 2.

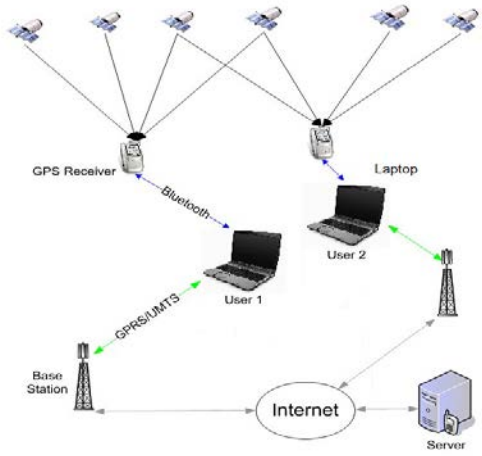


Figure 4. System architecture.

When comparing with Peer-to-Peer (P2P) networks, the transmission of large blocks of information, like maps, is harder in pure Client-Server architectures, as only the server is in charge of it but it was the logical choice because of the permissions system that was implemented and to keep the data centralized and secured. Also, with the use of a server, many kinds of clients may be developed, because as long as the same communications protocols are used, they are able to connect to the network, [22]. To achieve the desired architecture, two applications were developed: one, the Client, is meant as a mobile terminal, and is to be used on the vehicles used in civil protection operations. The other application, the Server, is meant as a fixed station, to be installed on the central of operations, and with access to the permissions database.

This project was conceived to be used with computers equipped with touch screens, like the ones available from Sunit: In-Vehicle Computers and shown in Fig. 5. One of these units was provided to the project by Datelka.

Figure 5. Vehicle computer, from Sunit: In-Vehicle Computers, class d.

The connection to the GPS system is achieved through receivers connected using Bluetooth or integrated in the computer used. Any kind of GPS receiver can be used, as most deliver their information according to the National Marine Electronics Association (NMEA) standards, which can be seen in [23]. Fig. 6 shows the receivers used during the development of this project and in Table H1 their specifications can be seen.

(a) BT-1300 **(b)** GP-600 **(c)** BT-338

Figure 6. GPS receivers used in this project.

TABLE H1. GPS receivers' specifications.

Model	Transfer Rate (bps)	Channels	Acquisition time (Hot/Warm/Cold)
BT-1300 QStarz	115200	66	1/33/35 (sec)
GP-600 ANYCOM	38400	15	8/38/45 (sec)
BT-338 GlobalSat	38400	20	1/38/42 (sec)

To connect to the network, any kind of wireless Internet modem used by any of the Internet Service Providers (ISP) available may be used. Some vehicle computers even have integrated modems.

C. Application for Mobile Devices

This application was designed to be used on computers installed on vehicles that are used on civil protection operations. This type of computers usually has touch screens, meaning it can be used without resorting to a mouse. The interface of the application was created taking this into account, so all the buttons are big, so they can be easily selected, even in the middle of an operation. The standard window of the application can be seen in Fig. 8.

Figure 7. Main window of the Client application.

This window shows the user's position, if he is present in the area covered by the map, and, if the user is connected to the Server, the positions of every other user online.

The process of calculating the representation of a user on the cartography being used has two steps: first the conversion of the geographic coordinates into map coordinates and second, from map coordinates into screen coordinates. Fig. 9 shows the calculations involved in the first step.

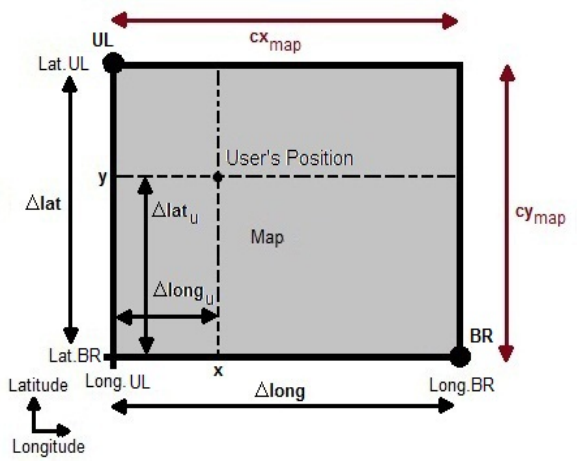


Figure 8. Converting geographical coordinates into image coordinates.

After knowing the user's position in the form of geographical coordinates, we calculate the variation, in degrees, of the corner with the lesser latitude and the user's latitude to obtain Δlat_u and the variation, also in degrees, of the corner of lesser longitude and the user's longitude, obtaining $\Delta long_u$. Δlat that stands for the variation of latitude between the two corners of georeferencing, corresponds to the height of the map, cy_{mapa}, and $\Delta long$, that stands for the variation of longitude between the two corners of georeferencing, corresponds to the width of the map, cx_{mapa}. With these associations, the horizontal coordinate, x, can be calculated through (1) and the vertical coordinate, y, using (2). The origin of the image is its lower left corner.

$$x = cx_{mapa} \cdot \Delta long_u / \Delta long \quad (1)$$

$$y = cy_{mapa} \cdot \Delta lat_u / \Delta lat \quad (2)$$

In the second step, the conversion of image coordinates into screen coordinates, the level of zoom used needs to be taken into account. Fig. 10 illustrates this step of the calculations.

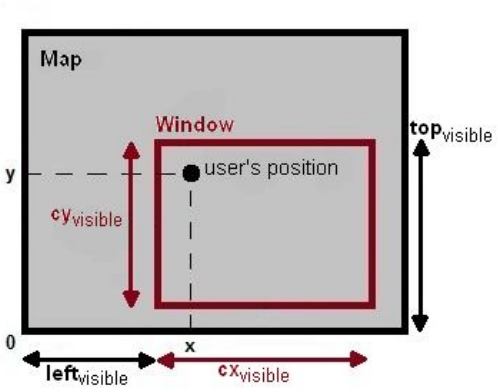


Figure 9. Converting image coordinates into screen coordinates

By knowing the width, $cx_{visible,}$ and height, $cy_{visible}$, of the image visible on the screen, the coordinates of the image corresponding to the left and upper borders of the window, $left_{visible}$ and $top_{visible}$, respectively, the image coordinates of the user, x and y, and the width, cx_{window}, and height, cy_{window}, of the window, we can calculate the screen representation of the user's position in screen coordinates. Unlike the image, the point of origin of the screen coordinates is the upper left corner. The horizontal coordinate, x_u, of the user is given by (3) and the vertical coordinate, y_u, is given by (4).

$$x_u = (x - left_{visible}) \cdot cx_{window} / cx_{visible} \quad (3)$$

$$y_u = (top_{window} - y) \cdot cy_{window} / cy_{visible} \quad (4)$$

Once the screen coordinates are obtained, the representation of the user's position can be shown onscreen, through the use of the markers shown in Fig. 10.

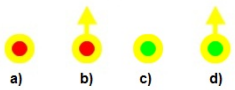


Figure 10. Markers for the user's position onscreen.

Marker a) from Fig. 11 is used when the user is not connected to the Server and, in contrast, marker c) is used when he is connected. Both markers only show the position of the user on the map. When the user has at his disposal two GPS receivers, he can also show his orientation on the map and markers b) and d) are used when offline or when connected to the Server, respectively.

The orientation of a user is calculated by converting the geographical coordinates, also called, LLA (Latitude, Longitude and Altitude), into ECEF (Earth-Centered, Earth-Fixed) coordinates, also called XYZ. After that the azimuth is calculated. This whole process is explained in [24]. The markers for the users' positions received from the server can be of two kinds, class 1 and class 2. The only difference between main user's markers and the two classes of received users is the color. The two classes can be used to distinguish different types of users like operatives on foot and vehicles or two kinds of vehicles (direct and support roles). While the application user's markers are yellow, class 1 users' markers are orange like shown in Fig. 11 a) and class 2 users' markers are blue, as illustrated in Fig. 11 b).

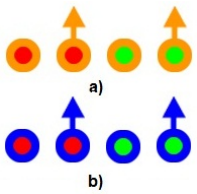


Figure 11. Markers for user's coordinates received from the Server.

Fig. 12 shows a zoomed image used by the application as a map, with the orientation of the user marked on it.

Figure 12. Orientation of a user marked on the application.

As shown back in Fig. 7, the main window of the application presents the user with five possible commands: "Prox. Mapa", "Zoom +", "Zoom 0", "Zoom –" and "Menu".

"Prox. Mapa", the first command available to the user, allows the application to cycle through a list of stored maps. The system uses a configuration file, "InfoMapas.txt", to store the georeferencing information of all the images in use. With the file, the application can switch maps and continue to show all the users' positions and sketches.

The command "Zoom +" can be accessed by the corresponding button or by double-clicking any part of the map. If the button is pressed, the center of the zoomed image is the same as the one shown in the window at that moment. However, if the image is double-clicked, the point clicked becomes the new center of the window. The amount of image on the window is reduced by half each time the zoom level is increased, which means that the number of screen pixels associated with each image pixel doubles. The application corrects the center of the image when the center chosen by the user would make the screen show the background of the window. After using the command "Zoom +" the user can pan the image to scroll the map. Pan is done when clicking and dragging the image. The application saves the position clicked and after a very short timer, records a new position. By subtracting both the initial and final positions, the application knows where to move the center of the image and then repaints the window with the new center. If the user drags the image in a manner that would show the background of the window, the application doesn't let him drag it any further.

The command "Zoom 0", when pressed, resets the image to its starting zoom level. This is the level where the whole image is shown on the window and covers it entirely. Every time the image shown is cycled through the "Prox. Mapa" command, this is the level of zoom of the new image painted on the window.

The command "Zoom –" decreases the level of zoom of the image shown on the window, showing twice the amount of image than before it's applied. This never goes beyond the level of the command "Zoom 0", otherwise, the background of the window would be shown and always keeps the center of the image.

The command "Menu" shows the bottom bar menu which has the following options: "Receptor GPS", "Rede", "Esquemas" and "Pontos Georreferenc".

- Pressing the "Recetor GPS" button opens the following sub-menu, shown in Fig. 13.

Figure 13. "Receptor GPS" sub-menu.

The menu has two sets of options: the first, shown in Fig. 13 a), appears when the application is connected to a GPS receiver and the second, shown in Fig. 13 b), appears when the application is not connect to any receiver. The command "Reset" turns the connection to the receiver off and then on again while the command "Ligar", attempts to establish a connection to the receiver. The last command, "Configurar", present in both situations, shows a window that lets users change the parameters needed to connect to a receiver. Using "Configurar" and then "Reset", lets users change the GPS receivers used without closing and re-opening the application.

- The "Rede" button opens the network sub-menu, which has only one command: "Ligar". This command allows the application to connect to the Server.

- The button "Esquemas" opens the sub-menu related to sketches, which has the options shown in Fig. 14.

Figure 14. Sketches sub-menu.

The command "Listar" shows a list of all the sketches stored. Selecting or deselecting any of the sketches listed makes them visible or hidden, respectively. The command "Novo"

cleans all the menus and buttons from the map, leaving only a button, “Fim”, and allows for a new sketch to be drawn. Sketches are stored as a group of geographical points that are connected when drawn. They are painted on the window in the same way as the users positions’ representations, but are connected.

- The “Pontos Georreferenc” button opens a sub-menu containing additional options related to georeferencing as shown in Fig. 16.

Figure 15. Georeferencing sub-menu.

The command “Novo (Manual)” allows for an additional georeferencing point to be added manually to the image currently shown on the application window. The user needs to select a point on the window as the location on the image for the georeferencing point. After this a window appears and the user must insert the geographical coordinates to be associated with that point. In a similar manner, the “Novo (Receptor)” command allows for an additional georeferencing point to be added to an image but instead of inserting the geographical coordinates manually, the application uses the coordinates gathered from the GPS receiver at the time. The “Enviar para a rede” command sends every georeferencing point other than the two compulsory points (upper left and lower right corner) to the network. The information is sent to the server which in turn sends to every user online. The last command in this sub-menu, “Mostrar Pontos”, shows all the georeferencing points associated with the image on the application window with yellow markers, except the two points used to calculate the representation of the user’s position on the image, which are colored orange. To determine which points to use, the application selects every possible combination of two georeferencing points, creating a rectangle between them and then calculates the center of the rectangles every time the user is inside a rectangle. After that, it measures the distance from the center of the rectangles to the user’s geographical coordinates and whichever has the shortest distance is selected and used to calculate the representation of the user’s position. Fig.16 shows an image with the georeferencing coordinates marked and Fig.17 illustrates the rectangles created internally by the application.

Figure 16. Image with georeferencing points marked.

Figure 17. Rectangles created with the georeferencing points, as done internally by the application.

The number of rectangles created, $N_{\square}$, is given by (5), where n is the number of georeferencing points associated with the image. This only works if all the georeferencing points have distinct values for latitude and longitude.

$$N_{\square} = n(n-1) / 2 \quad (5)$$

The use of a larger number of georeferencing points helps to reduce the errors associated with the georeferencing process. These errors can come from image distortions, in which the value of latitude or longitude per pixel is not always the same throughout the image. The projection

used can also be associated with these errors, since it is assumed that the latitude is the same in an horizontal line and that the longitude is the same in a vertical line, which is false in most cases, where those values are the same in curves and not in lines.

D. Application for Stationary Devices

This application was designed to be used in civil protection operations' management centers. It was assumed that the computers that use it have access to the Internet and to a user database. After properly configured, the application is able to process data autonomously, unless if new maps or georeferencing information need to be added to the network. The main window is presented in Fig. 18.

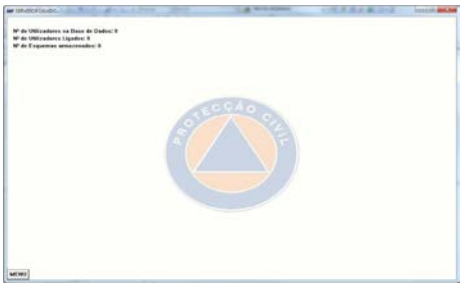


Figure 18. Server application window.

The only interface button available to the user is "Menu". Like the Client application, this opens another menu with other options, which are "Envia Mapa", "Coords Extra" and "Google Earth". This menu is shown in Fig. 19.

Figure 19. Server application's menu.

- The command "Envia Mapa" is used to transmit new images to the network. It starts by transmitting the image, then its information and compulsory georeferencing points and finally, any other georeferencing points associated with the image. If the receiving client has an image with the same name, the operation fails.

- "Coords Extra" is used when new georeferencing information is available for an image and works exactly like the "Enviar para a rede" command in the client application, under "Pontos Georreferenc". When a client updates this information, the server sends it to every online user which means some of the users may not receive it. With this command the server can broadcast this information to make sure every user in the network has access to the latest georeferencing information.

- Since the Server application doesn't have a visual interface able to show the position of the users in the network, the "Google Earth" command serves as a way to show users and sketches on this Earth browser. The application periodically creates KML files and when the button is pressed, opens Google Earth with the file and then updates it once a minute. Fig. 21 illustrates how the network elements are shown to the user.

Figure 21. Google Earth window showing two users and a sketch.

In addition to the features described, the Server is also connected to a database, where permissions are managed. In this database, users are grouped according to levels of hierarchy. Each level is able to send different kinds of information to levels above and below. Each user is also given authorization to connect to the network in the database and to which operation they belong. Users are only able to see the position of others users on the same operation. Fig. 22 shows a diagram of the database, which

consists of two tables, connected through the hierarchy groups.

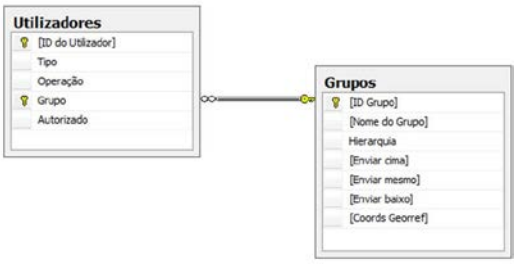


Figure 22. Database tables.

IV Application Tests

The applications developed were tested to assess the system's capabilities in terms of number of georeferencing points to be used, data transmission rates, window painting times, calculations of user's orientation precision and traffic consumption.

A. Number of Georeferencing Points

As explained in section III.C, the process of assigning geographical information to an image, also called georeferencing, has errors associated with image distortions and the projection used. To achieve a more precise representation of a user's coordinates on a georeferenced image, the distance between the corners of the square used must be shorter, which means the square used must be smaller and therefore, the number of points needed to cover the entire image must be higher. To study the size of the grid needed to achieve an acceptable accuracy for the representation of a user's coordinates, a group of georeferencing points was marked on an image. Each pair of points simulates a grid of a different size. In the tests, a Google Earth image of the University campus was used, covering an area of approximately 18'' in longitude and 8.25'' in latitude (approximately 440m x 258m). It is shown in Fig. 23. The image was used four times in the application, and each time, the distance between the extra georeferencing points used to calculate the pixel coordinates was shortened to simulate the use of a tighter grid. Also, a user with known coordinates was marked on the image and his coordinates were incorporated into the application as if they were obtained by a GPS receiver. With these conditions, for every map used, the accuracy of the given coordinates' representation on the image is increased.

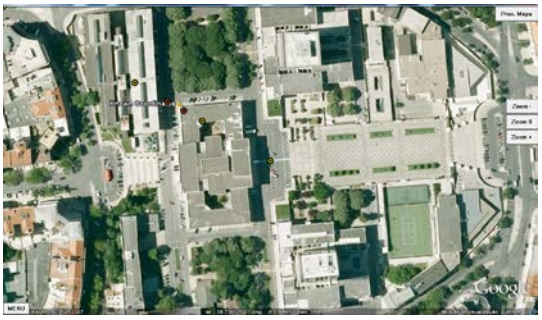


Figure 23. Test image used.

With the first pair of points, which simulates a grid of 5 points, the error between the calculated representation of the user and the real position was around 3m. Using georeferencing points with half that distance, meaning a grid of 13 points, the error was approximately 1m and, again, with that distance halved (41 points grid), it dropped to less than 0.5m. With that distance halved one last time, which simulates a grid of 145 points, the error wasn't reduced. This last case is shown in Fig.24.

Figure 24. Case of a 145 points grid.

Due to the practical use of the application, using 13 points of georeferencing for this image is the best option. In this case the square created by the georeferencing points has approximately 4.51'' in longitude and 2.07'' of latitude (approximately 110m x 40m). To obtain an almost perfect accuracy, the case of the 41 points grid is needed which implies an area of 2.75'' in longitude and 1.03'' in latitude (approximately 55m x 20m).

B. Data transmissions rates

To test the rates of transmission in the network, an image was sent from the Server to an increasing number of users. The image used had

a size of 346.181 bytes. The time was taken into account since the first message was sent by the Server until the last user received the last part of information about the image. The results are shown in Fig. 25.

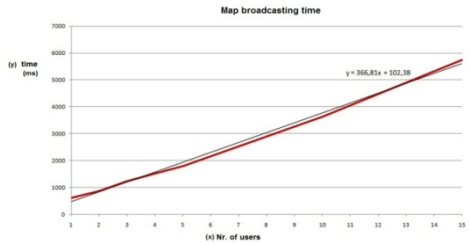


Figure 25. Transmission time from the Server to the network.

As expected and shown in Fig, 25, the time, y, increases with the number of users, x, and that increase can be approximated by the line given by (6).

$$y\ (ms) = 366.81x + 102.38 \quad (6)$$

This means that with enough users the network will be idle for a potentially long time when the server broadcasts new images. For this reason, this feature should be used when not in an operation. One option to solve this would be the use of an architecture hybrid of server-client and peer-to-peer, which was never considered for this project.

C. Application's Window Painting Time

In order to measure the time needed to paint the Client's window, two tests were performed: one only with the users' positions and the other with the users' orientations, since it involves more calculations to rotate the marker. Both tests were performed with a crescent number of users. The results can be seen in Fig. 26.

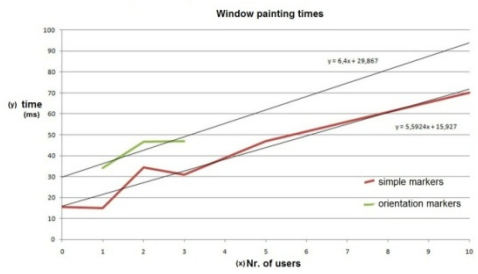


Figure 26. Window painting time.

The red line corresponds to the results with only simple markers used. The test was performed with a range from 0 to 15 users. The results can be approximated by a line given by (7).

$$y\ (ms) = 5.5924x + 15.927 \quad (7)$$

The green line corresponds to the second test case, with only orientation markers, from 1 to 3 users, and the results can be approximated by a line given by (8).

$$y\ (ms) = 6.4x + 29.867 \quad (8)$$

As can be seen in Fig. 26, an increase in the number of users is translated into an increased time needed for the window to be painted. Also, if the application has to paint the orientation markers, it takes more time than to paint only simple ones. Using (7) and (8), the window's paint time can be estimated for a large number of users, for example, 100. For this number, the paint time only with simple markers is 575.167 ms and for orientation markers is 669.867 ms. Both these values are over half a second. This doesn't pose a problem if the image is manipulated (for example, with the pan feature) as the window is refreshed every 5 seconds. The problem is when the image is being manipulated because the window is repainted with very small intervals (300ms in the case of pan). A solution would be to only paint the users' markers when the image is stationary.

D. Precision of Orientation Calculations

To test the precision of the orientation feature of the client application, the values calculated were stored for a 10min interval and then the average and standard deviation were calculated and compared to a known value. In the time interval used, the number of points gathered was around 120 since the window is repainted every 5 seconds. The average value, $\bar{X}$, was calculated using (9), where x(t) are the gathered values and n_x the total number, and the standard deviation, σ, using (10).

$$\bar{X} = \frac{\sum[x(t)]}{n_x} \quad (9)$$

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum[x(t) - \bar{x}]^2}}{n_x - 1} \quad (10)$$

Fig. 27 shows the image used on this test with the calculated orientation of the user and the real orientation marked.

Figure 27. Real and calculated orientations marked on the application window.

With a real value of about 21º, the average value obtained was 20.57º with a standard deviation of 2.97º, which includes the real value. An acceptable orientation value is only achieved with very favorable conditions for the GPS system. The surrounding area must be clear to avoid excessive reflections so the receivers get clear signals and the signals must be stable so they don't vary too much. Also, it was assumed that both values obtained from the rear and front receivers vary in a similar manner. If this doesn't occur, the orientation may be very different from the real value.

E. Traffic Consumption Estimate

To get an estimate of the traffic consumed by the network a number of calculations were performed taking into account the most basic operation of the system: the transmission of geographical coordinates.

$	User ID	Message ID	Body size	#	Body	Check sum
1	var	3	3	1	var	2

Figure 28. Format of the messages transmitted in the network.

The body of a geographical coordinates' message is composed of the User ID of every user on the same operation as the receiver, along with their coordinates. All the information is separated by "*". The number of bytes used on every part of the message is as follows:

- Message header is composed of 18 bytes: 11 for the User ID, using firefighters vehicles' ID (4 numbers, 4 letters and 3 numbers), 3 for the Message ID, 3 for the Body size and 1 for "#";
- User information with one pair of coordinates is composed of 41 bytes: 11 bytes for the User ID, 1 for "*", 29 for the user's position (latitude between 0 and 90 with 10 decimal digits plus orientation and longitude between 0 and 180 with 10 decimal digits plus orientation);
- User information with two pairs of coordinates from two receivers is composed of 71 bytes: 41 bytes for the information explained above, 1 byte for "*" and 29 bytes for the coordinates of the second receiver.

Applying this number of bytes in a regular message with 10 users, half of them using two receivers, the total number of bytes is 587 (18 from the header, 5 times user information with one receiver and 5 times user information with two receivers). Having in mind that in a minute these messages are transmitted 12 times, this means that in an hour 720 messages are sent. This means a consumption of about 0.4 MB /h.

Assuming a very large number of users, 100, where 50 have access to two receivers these values would be 5717 bytes in a message and a consumption of 3.9 MB /h.

Most mobile Internet service providers provide users with 100 MB of consumption per month. This means, in the average case, around 250 hours and in the worst case scenario, 25 hours. Considering that the worst case will very rarely occur, the consumption is considered acceptable. No calculations were considered for the Server as it's assumed it will be stationary, where data consumption isn't an issue.

V Conclusions and Critics

As proposed, the system developed allows users to see the position and, in some cases, the orientation of other users in the same operation on the cartography used. This cartography may be any kind of image, from digitalized maps to aerial photographs, as long as geographical

information is associated with it. The information associated with each image may be increased manually or through the GPS receivers, increasing the accuracy of users' representation's calculations. Every user can draw sketches directly on top of the cartography and select which users should receive it. A system of permissions on the server application selects which users can connect to the network and which information each user can send and receive. The system is able to differentiate between two types of users, adding diversity to the network.

With the user's orientation feature, the system allows for an expansion with cameras to be developed. By knowing the orientation of a user and using cameras able to rotate and zoom, the line of sight of each camera equipped vehicle can be shared with the network. With the permissions system, the network could allow selected users to control the cameras and the visual information to be shared.

Unlike previously developed applications in this field, this project doesn't use a map distribution system, as it was developed to be used with vehicle computers, which shouldn't have disk space problems and can store all the maps needed. These computers also have touch screens which means they can easily be handled in the middle of an operation without the need to use pens or markers like when using PDAs. The applications considered in section III.A need a lot of configuration time as all the parameters need to be inserted before connecting to the rest of the network (GPS receivers and Server). The application developed in this dissertation creates external files where all the configuration information is stored, reducing the time needed to start using it. The orientation feature, explained earlier, is also a new feature not present in previous projects.

The only drawbacks of the application, which could be corrected if it was to be commercialized, are the absence of a user password, meaning that anyone with the application and a valid User ID can connect to the network if that user is not connected already. This could be bypassed by using a password system when connecting to the network and by having the Server transmit a unique code-key to the users and have them sending it back when they need to reconnect. This was not developed because part of the communication protocols would have to be changed, which would be a lengthy process. Also, some unexplained cases of Server crashes occurred, that couldn't be reproduced at will, which means that it could not be completely resolved.

The applications developed meets the objectives proposed from the start, and having been tested in terms of performance, it's considered that with a little more development in some areas it could be commercialized.

Acknowledgements

This work was partially supported by the Portuguese Foundation for Science and Technology (FCT), the Instituto de Telecomunicações (IT) and Datelka – Engenharia e Sistemas. Parts of the project were developed at Datelka's installations.

References

[28] - Navigation Center, "NAVSTAR User Equipment Introduction, Public Release Version", 1996.

[29] - Scott Prater, "Airmen Upgrade GPS Constellation", 50th Space Wing Public Affairs Schriever AFB CO (AFNS) Jun 03, 2010.

[30] - Will Lumpkins, Sr. Member IEEE, Sr. FAE, "GPS and WiFi Technology", presentation from the company Wi2Wi, 12th May 2009.

[31] - Kowoma.de, "Control Segment (Monitor Stations)", 2009.

[32] - Bluetooth website (http://www.bluetooth.com).

[33] - Usha Communications Technology, "GPRS General Packet Radio Service", white paper, 2000.

[34] - Nokia, "Enhanced Data Rates for GSM Evolution, EDGE", white paper, 1999.

[35] - Ericsson, “The evolution of EDGE”, white paper, 2009.

[36] - Peter Rysavy, “Data Capabilities: GPRS to HSDPA”, white paper for 3G Americas, 2004.

[37] - Pablo Tapia, Jun Liu, Yasmin Karimli, Martin J. Feuerstein, “HSPA Performance and Evolution”, John Wiley & Sons Ltd, 2009.

[38] - E.F. Codd, “A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks”, Communications of the ACM, 1970.

[39] - Donald D. Chamberlin & Raymond F. Boyce, “SEQUEL: A Structured English Query Language”, Proceedings of the 1974 ACM SIGFIDET (now SIGMOD) workshop on Data description, access and control, 1974.

[40] - Chris Collins, “History of the SQL”, author’s blog article, 2007.

[41] - Dr. Herong Yang, “MySQL Tutorials - Herong's Tutorial Notes”, book from the author’s website, 2009.

[42] - ANSI/ISO/IEC International Standard (IS), “DatabaseLanguageSQL—Part2: Foundation (SQL/Foundation)”, SQL standard, 1999.

[43] - SQL Tutorial from www.w3schools.com.

[44] - Google’s KML website.

[45] - Nuno Carvalho, “I-Garment Case Study: Location and Monitoring Applications Through Satellite Communications”, I-Garment project presentation, 2005.

[46] - R. Matos, D. Santos, J. Sanguino, A. Rodrigues, “A GPS-based Mobile Coordinated Positioning System for Firefighting Scenarios,” Proc. of the 1st International Conference on Mobile Computing and Wireless Communications (MCWC 2006), Amman, Jordan, 17-20 September 2006, pp.209-214.

[47] - Filipe Tocha, “Sistema de posicionamento coordenado baseado em GPS: Geocommunicator”, Msc Thesis, Instituto Superior Técnico, Technical University of Lisbon, 2008.

[48] - D. Santos, R. Matos, J. Sanguino, A. Rodrigues, “Automatic Location-based Map Distribution Service for Mobile Coordinated Positioning System,” IADIS International Conference, WWW/Internet 2006, Murcia, Spain, 6-7 October 2006, vol. 2, pp. 305-309.

[49] - Robin Jan Maly, “Comparison of Centralized (Client-Server) and Decentralized (Peer-to-Peer) Networking”, semester thesis, May 2003.

[50] - NMEA, “The NMEA 0183 Protocol” v3.0 of the standard.

[51] - José Sanguino, support material for the course Navigation Systems, of the Integrated MSc in Aerospace Engineering curricular plan, Instituto Superior Técnico, Technical University of Lisbon, 2010.